

DER PHYSIK UND CHEMIE.  
BAND LXVI.I. *Akustische Versuche auf der Niederländischen Eisenbahn, nebst gelegentlichen Bemerkungen zur Theorie des Hrn. Prof. Doppler<sup>1)</sup>; com Dr. Buijs Ballot zu Utrecht.*

Sobald mir das Schriftchen des Hrn. Doppler in die Hände gekommen war, reizte mich der Scharfsinn der darin entwickelten Theorie; es wurden aber auch Zweifel in mir erregt über die Anwendbarkeit dieser Theorie auf die Farben der Doppelsterne. Ich fasste schon damals den Vorsatz, einige Versuche dieserhalb anzustellen und zugleich die Anwendung der Theorie an anderen bekannten Thatsachen zu prüfen, allein, durch Umstände daran verhindert, begnügte ich mich, am Schlusse meiner Dissertation<sup>2)</sup> eine Thesis aufzustellen, welche mir auch zu der folgenden Discussion als Motto dienen kann:

*Theoriam Doppleri probandum existimo; ad stellarum autem duplicitum colores explicandos non sufficientem dico.*

Obgleich man schwerlich berechtigt ist, die Aussage einer wohl begründeten Theorie zu bezweifeln, — und wer möchte dieses bei der Theorie des Lichts oder des Schalls, — so hielt ich es doch nicht für überflüssig, den von Hrn. Doppler zuerst zur Sprache gebrachten Einfluss der relativen Geschwindigkeit eines tönenden Instruments auf die wahrgenommene Tonhöhe durch directe Versuche nachzuweisen, besonders da einige Musiker, denen ich diese Theorie mittheilte, die Haltbarkeit derselben bestimmt verneinten. Sie stützten sich dabei un-

1) Ueber das farbige Licht der Doppelsterne u. s. w. Prag 1842.

2) *De Synaphia et Prosaphia. Traject. ad Rhen. 1844.*

ter anderem auf die Thatsache, daß man das Geräusch eines rasch vorbeifahrenden Wagens nicht anders höre, wenn er sich nähert, als wenn er sich entfernt; auf die Erklärung dieser Thatsache werde ich weiterhin zurückkommen.

Mit dem Licht in dieser Hinsicht zu experimentiren ist nicht möglich, da uns keine Geschwindigkeit zu Gebote steht, die nur einigermassen mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts vergleichbar wäre. Es ist aber auch nicht nothwendig, da man volles Recht hat, Resultate akustischer Beobachtungen auf das Licht zu übertragen. Ueberdies lag mir die Gelegenheit zur Anstellung eines solchen Versuchs ganz nahe, da mir eine Locomotive auf der Eisenbahn bei Utrecht ein treffliches Mittel dazu darzubieten schien. Ich wandte mich deshalb an den Director der Rhein-Eisenbahn, Hrn. L. J. A. van der Kun, der den Vorschlag überaus günstig aufnahm, mir von Sr. Excellenz dem Minister des Innern die Erlaubniß der kostenfreien Benutzung einer Locomotive zu dem vorgesetzten Zwecke auswirkte, und überdies mit der größten Bereitwilligkeit jede Gelegenheit verschaffte, die Theorie des Schalls, welche bereits so viele Proben glücklich überstanden hat, auch in dieser Hinsicht zu bewähren. Es ist mir ungemein angenehm, durch den guten Erfolg meiner Versuche sein Wohlwollen belohnt zu sehen; seine Güte verpflichtet mich ihm zum aufrichtigsten Dank.

Ich werde meinen Aufsatz in zwei Theile zerfallen, in der Anordnung, daß ich zunächst die Bestätigung der Doppler'schen Theorie gebe, und dann die Untauglichkeit der Anwendung derselben auf die Farben der Doppelsterne erweise.

§. 1. Die isochronen Schwingungen eines tönenden Instruments werden nach gleichen Zeitintervallen zum Ohr des Wahrnehmers gelangen, und darin also die Empfindung

eines und desselben Tones, der hervorgebracht war, erregen. Der subjective Ton wird für den Beobachter dem objectiven Tone gleich seyn, wenn Instrument und Beobachter ihre Stellen nicht oder gleichviel ändern, also relativ in Ruhe bleiben. Wenn sie aber in relativer Bewegung sind, so findet etwas anderes statt. Es sey das Instrument in Bewegung: so geht jede Schwingung von einem anderen Punkt aus als die vorherigen; sie wird also längere oder kürzere Zeit brauchen, um zum Beobachter zu gelangen, je nachdem die Bewegung von ihm ab, oder auf ihn zu gerichtet ist. Die Grösse der Verzögerung oder Beschleunigung, welche dadurch jede folgende Schwingung erfährt, wird gleich seyn der Geschwindigkeit der Bewegung dividirt durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls und multiplicirt mit dem Cosinus des Winkels, welchen die Richtung der Bewegung mit der Linie vom Instrument zum Beobachter macht.

In meinen Versuchen habe ich die Standorte der Beobachter immer so gewählt, dass dieser Cosinus möglichst gross war, und nur im Vorbeifahren seinen Werth merklich änderte. Während nämlich die Locomotive auf den Schienen hin und her fuhr, standen die Beobachter auf der Eisenbahn 1 bis 2 Meter von den Schienen entfernt. Wenn man auch  $2\frac{1}{2}$  Meter für diese Entfernung annimmt, so war doch, sobald die Locomotive über 20 Meter Abstand erlangt hatte, der Cosinus immer grösser als  $1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{64} + \dots$ , also nahe der Einheit gleich. Dieser Cosinus war also nur in dem Falle, dass die Locomotive sich innerhalb eines Abstandes von 20 Metern befand, ein Factor von einem Einfluss; ich werde also seiner nicht weiter erwähnen.

Die Verzögerung also, um auf diese Grösse zurückzukommen, ist, wenn  $c$  die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls und  $a$  die Geschwindigkeit des Instruments, beide auf die Secunde reducirt, bedeuten, gleich  $\pm \frac{a}{c}$ .

worin das untere Vorzeichen für den Fall einer Beschleunigung oder einer Annäherung des Instruments zum Beobachter gilt. Die auf einander folgenden Schwingungen eines Tons, der  $n$  Schwingungen in der Secunde macht, werden einander nunmehr nicht nach  $\frac{1}{n}$  Secunde folgen,

sondern nach  $\frac{1}{n}(1 \pm \frac{a}{v})$ . Der wahrgenommene Ton wird

also  $\frac{n}{1 \pm \frac{a}{v}}$  Schwingungen in der Secunde zu machen scheinen, und dies ist seine subjective Höhe.

Wenn nicht das Instrument, sondern der Beobachter in Bewegung ist (ein Fall, welcher stattfindet, wenn auf dem Wege geblasen und auf der Locomotive beobachtet wird), so gehen zwar die Schwingungen von einem selben Punkte aus, aber sie müssen den Beobachter, der sich mit der Geschwindigkeit  $a$  bewegt, einholen oder ihm entgegen kommen, und sie erreichen ihn daher später oder früher als nach  $\frac{1}{n}$  Secunde, nämlich, wie eine leichte Berechnung zeigt, nach der Zeit  $\frac{1}{n}(\frac{v}{v \pm a})$ . Der subjective Ton

ist also von  $n(1 \pm \frac{a}{v})$  Schwingungen. Das obere + Zeichen gilt hier wieder für den Ton, welcher beim Entfernen gehört wird und in dem Folgenden immer *gehender Ton* genannt seyn soll, während ich mit  *kommenden Ton* denjenigen bezeichnen will, der bei Verringerung des Abstandes zwischen Instrument und Beobachter vernommen wird. Dieser ist immer der höhere, jener der tiefere. Man sieht aus den Formeln, dass, wenn  $a=v$ , der kommende Ton als die höhere Octave, der gehende gar nicht vernommen wird, falls der Beobachter sich mit dieser Geschwindigkeit bewegt; dass dagegen der kommende Ton unendlich hoch, der gehende die tiefere

Octave seyn wird, im Fall das Instrument die Bewegung erleidet.

Um die Wahrnehmungen sogleich dem Calcul zu unterwerfen, hat man nur die Werthe von  $a$  und  $v$  zu kennen. Bei meinen Versuchen sind die von  $a$  sehr genau beobachtet worden, da nach Angabe zweier Chronometer der Zeitpunkt aufgezeichnet ward, wo jedesmal hinter einer festen in dem Wagen gewählten Linie eine Milliarie oder ein Zehntel derselben verschwand; so besaß man jedesmal die Zeit, während welcher die Locomotive 100 Meter durchlaufen hatte. Die Werthe von  $v$  sind für jeden Baro-, Thermo- und Hygrometerstand aus den Beobachtungen von Moll und v. Beek bekannt<sup>1</sup>); sie muß aber vergrößert werden um die Geschwindigkeit des Windes, zerlegt nach der Richtung vom Instrumente zum Beobachter.

### §. 2.

Nachdem ich einige vorläufige Versuche angestellt, um mich von der Tauglichkeit der zu Hülfe gezogenen Musikanten zu überzeugen, gelang es mir am 3. und 5. Juni d. J. die Sache genauer zu untersuchen<sup>2</sup>). Die

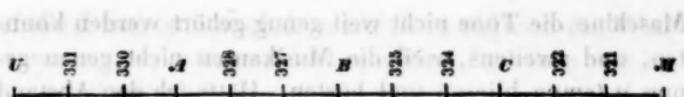
1) Man sehe diese Annal. Bd. V, S. 351 und 469, auch Simons Ibid Bd. XIX, S. 115. Zur historischen Uebersicht aller der zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls gemachten Versuche vergleiche man Bravais, *Ann. de chim. et de phys.* 1845 Janv. oder *Biblioth. univers. de Genève* No. 109 p. 149 (im folgenden Aufsatz mitgetheilt. P.), worin besonders die eben ciirten Versuche hervorgehoben und gewürdigt werden. Gelegentlich sey es mir erlaubt zu bemerken, daß wenn in der Formel für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit statt des Gay-Lussac'schen Ausdehnungs-coefficienten die Rudberg'sche Zahl 0,00366, und statt des  $g$  von Borda 9,8284 das  $g$  nach Poisson gleich 9,8088 gesetzt wird, man für das Verhältnis der beiden Wärmecapacitäten der Luft, d. h. für die GröÙe  $k$ , den Werth 1,4122 findet, was bis auf ein Zehntausendstel mit der Dulong'schen Bestimmung übereinkommt.

2) Wer dieses umständlicher zu lesen wünschen sollte, kann es in der *Nederlandsch Muzykal Tydschrift Carcilia*, vom 1. April, 15. Juli und 1. Aug. 1845.

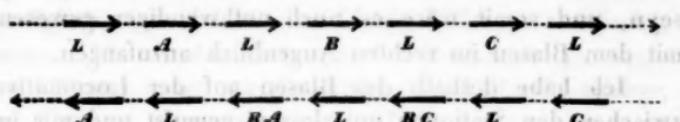
Locomotive hatte nur einen, möglichst offenen Wagen hinter sich, und in diesem befanden sich die Personen, welche mich zu unterstützen bereit waren. An drei Stationen, die am ersten Tage 400 Met., am zweiten aber 300 Met. aus einander lagen, und die, in Richtung auf Maarsen, so weit von Utrecht entfernt waren, dass die Locomotive, bevor sie die erstere erreichte, eine hinlängliche Geschwindigkeit erlangt hatte, setzte ich drei dieser Personen aus: einen Musikanten, der blasen, einen Musiker, der den Tonunterschied beobachten, schätzen und aufzeichnen sollte, und einen meiner Freunde, der, genau nach einem von mir entworfenen Plan, zu blasen und zu hören befahl, auch seine Aufzeichnungen mache. Auf der Locomotive befanden sich natürlich ebenfalls drei solche Personen, am zweiten Tage sogar zwei Musikanten, um nöthigenfalls unaufhörlich blasen zu lassen; ich selbst war auch auf der Locomotive, deren Geschwindigkeit wie gesagt genau aufgezeichnet wurde. Es waren also vierzehn Personen in steter Wirksamkeit und fest stationirt; die übrigen, worunter noch mancher Musiker und Liebhaber, hatten sich längs der Bahn vertheilt, um da aufzuzeichnen und etwaige Mittheilungen von einer Station zur andern zu überbringen.

### §. 3.

Ich hatte zur Absicht recht viele Beobachtungen zu sammeln, und traf demnach eine Anordnung, die aus der folgenden Zeichnung verständlich werden wird. Es bezeichnet darin die voll ausgezogene Linie *UM* den zwischen Utrecht und Maarsen gelegenen Theil der Eisenbahn, *A*, *B* und *C* die Standpunkte der drei Gruppen von Beobachtern, und die Ziffern die Anzahl der Milliarden und deren Untertheile. Die beiden punktierten Linien geben an, wann auf den Stationen *A*, *B*, *C* oder auf der Locomotive *L* geblasen wurde, während letztere, in der einen oder anderen Richtung auf der Bahn hinfahrend, sich an den durch diese Buchstaben bezeichneten Orten befand.



Es wird geblasen in:



Während demnach die Locomotive, in Richtung von Utrecht nach Maarsen, an den Stationen *A*, *B*, *C* vorbeifuhr, konnte man die Abänderungen der daselbst angestimmten Töne beobachten. So wie man sich *A* näherte und der Ton von dort merklich wurde, begann er höher zu werden, und wenn man sich darauf von *A* in Richtung nach *B* entfernte, hörte man ihn tiefer werden. Dasselbe geschah bei *B* und *C*. Auf der Locomotive selbst wurde geblasen, während sie sich zwischen *A* und *B* oder zwischen *B* und *C* befand, damit der Ton sowohl in *A* als in *B* oder sowohl in *B* als in *C* vernommen würde und der Unterschied klar hervorträte. Es wurden also während man von *U* und *M* fuhr fünf Beobachtungen gemacht.

Auf der Rückfahrt fand das Gegentheil statt. Im Vorbeifahren vor jeder Station blies der auf der Locomotive befindliche Musikant, und der Unterschied des kommenden und gehenden Tons unter sich und mit dem objectiven Ton wurde von den ruhenden Musikern aufgezeichnet. Zu dem Ende sollten *C* und *B* oder *B* und *A* jedesmal, wenn die Locomotive zwischen *C* und *B* oder *B* und *A* war, einen und denselben Ton anstimmen, weil dadurch der Unterschied der beiden gleichzeitig vernommenen Töne sehr scharf hätte festgesetzt werden können. Aus zwei Ursachen habe ich aber diese Methode nicht so ausführen lassen: erstlich weil wegen des Geräusches der

Maschine die Töne nicht weit genug gehört werden konnten, und zweitens, weil die Musikanten nicht genau genug *a tempo* bliesen und hörten. Hätte ich den Abstand der Stationen verringert, um besser hören zu lassen, so würden die Versuche noch rascher auf einander gefolgt seyn, und somit wäre es noch nothwendiger gewesen, mit dem Blasen im rechten Augenblick anzufangen.

Ich habe deshalb das Blasen auf der Locomotive zwischen den Stationen unterlassen genufst und nur im Vorüberfahren Beobachtungen anstellen gekonnt, erwähne indes der fehlgeschlagenen Versuche, weil sie mir überaus günstig und fein zu seyn scheinen und ich also Jemanden, der über stärkere Instrumente oder disciplinirtere Personen zu verfügen hat, sehr ratben möchte, die Versuche auch in dieser Weise zu wiederholen. Als nämlich die Locomotive von *C* nach *B* fuhr, hatte ich, während die auf derselben befindlichen Musiker nichts davon wußten, bei *B* etwa einen halben Ton tiefer, und als sie von *B* nach *A* fuhr, etwa einen halben Ton höher als verabredet war, blasen lassen, hatte also dadurch die Töne, welche von *B* und *C* oder von *B* und *A* zugleich zum Ohr des Wahrnehmers gelangten, beinahe gleich und einen kleinen Unterschied derselben merkbar gemacht; auch erlangte ich den Vortheil, daß die Beobachter nicht immer das Nämliche zu beobachten brauchten, und dadurch weniger leicht in einen constanten Fehler verfielen. Da ich nun aber dies Verfahren nicht ausführen konnte, mußte ich mich auf die folgenden Beobachtungen beschränken, welche am 3. Juni mit Klapphörnern (Ventiltrompeten) gemacht, und am 5. mit Signaltrompeten wiederholt wurden.

#### §. 4.

Ich schreite nun zur Beschreibung der Vorsichtsmaaßregeln und Schwierigkeiten bei den Beobachtungen.

Zuerst müssen die Instrumente gut mit einander abgestimmt seyn, was leicht zu erreichen, aber schwerer

auf die Dauer zu unterhalten ist; denn obgleich das Wetter warm war, schienen doch ein Paar derselben sich etwas verstimmt und einen höheren Ton gegeben zu haben. Auch ist zu bemerken, dass bei Sonnenschein und 18 bis 20° Wärme, besonders wenn die Instrumente nicht sehr vorzüglich sind, leicht eine kleine Differenz stattfinden kann. Wir werden dies aus den Beobachtungen ersehen können, wenn wir sie prüfen. Es hält sehr schwer, den Ton gut zu vernehmen, weil die Locomotive nicht allein ein starkes Geräusch macht, sondern auch sehr viel Wind erregt; nur unter günstigen Umständen gelingt es, die Tondifferenz richtig zu schätzen. Das erwähnte Geräusch war am 3. Juni, wo ich noch die etwas schwächeren Klapphörner anwandte, mehrmals Ursache, dass der kommende Ton, der doch nicht allein der höhere, sondern auch der stärkere seyn sollte, gar nicht vernommen wurde. Wenn daher auch ein musikalisches Ohr bei rubiger Beobachtung noch ein Komma kleiner als  $\frac{1}{7}$  zu unterscheiden vermag, so wird doch Keiner sich wundern, wenn ich sage, dass es unter obigen Umständen kaum möglich war den Unterschied bis auf ein Achtel- oder Viertelton zu bestimmen. Man muss übrigens bedenken, dass ein Achtelton ein Verhältniss von nahe  $\frac{6}{7}$  ist, also einen Unterschied darstellt, den man in der Musik vernachlässigt.

Ist die relative Geschwindigkeit der Instrumente gering, so ist auch der Unterschied klein und ein Fehler von  $\frac{1}{9}$  oder  $\frac{1}{10}$  Ton hat großen Einfluss; und doch lässt sich, wie gesagt, ein Fehler von dieser Größe nicht vermeiden, obgleich man in diesem Fall den Ton längere Zeit hindurch beobachten kann. Vergrößert man die Geschwindigkeit, was nothwendig ist, um das Gesetz, nach welchem die Tondifferenz von der Geschwindigkeit abhängt, zu entdecken oder zu bestätigen, so verstärkt man auch das Geräusch und verkürzt die Zeit außerordentlich. Man kann den Ton nur aus einer Entfernung

von etwa 50 Meter vernehmen, und da er bei 20 Meter bereits merklich abzunehmen anfängt, so hat man nur eine Secunde (wenn die Geschwindigkeit 25 Meter beträgt) um die Höhe des kommenden Tones wahrzunehmen, während noch dazu ein Geräusch anderen Ursprungs die reine Beobachtung beeinträchtigt. Wenn man die Pfeife der Locomotive selbst ansprechen lässt, wie ich einmal gethan habe, so ist freilich die erste Schwierigkeit beseitigt, und wenn man nicht nur das Instrument, sondern auch den Beobachter auf einer zweiten Locomotive mit grösstmöglicher Geschwindigkeit fortführte, so würde es leicht seyn, eine relative Geschwindigkeit von über 50 Meter zu erhalten und die Tondifferenz auf eine Terz zu steigern; allein die Pfeife der Locomotive ist noch kein reiner Ton und bis jetzt liegt auf der Rhein-Eisenbahn auch noch kein Doppelgleise.

Durch die Veränderung der Tonhöhe innerhalb 20 Meter wird der Unterschied zwischen dem kommenden Ton und dem objectiven leicht etwas zu gering gefunden, da ersterer in der Zwischenzeit, das der Musikant denselben zur Bestimmung mit seinem Instrument vergleicht, immer etwas abnimmt. Dieser Nachtheil findet sich nicht bei der Bestimmung des gehenden Tons; dieser sinkt tiefer bis die Locomotive auf eine solche Entfernung vom Beobachter gekommen ist, das man annehmen darf, sie entferne sich geradlinig; dann bleibt er constant derselbe, so das also genau festgesetzt werden kann. Ein kleiner Unterschied ist vielleicht dadurch hervorgebracht worden, das die Instrumente, um den Ton möglichst stark zum Ohre des Beobachters gelangen zu lassen, jedesmal denselben zugewandt werden mussten, wodurch er denn das eine Mal wider und das andere Mal mit dem Winde ging. Ich weiß nicht, wie die hiedurch entstehende Modification des Tones am besten in Rechnung zu ziehen ist, glaube indes, das sie, obgleich klein, doch merklich sey.

§. 5.

Die Schätzungen der Musiker sind in Achtel-, selten nur in Sechszehtönen angegeben; einige haben nicht anders aufgezeichnet als: nahe  $\frac{1}{2}$  mehr, mehr als  $\frac{1}{2}$  oder  $\frac{1}{4}$  u. s. w. Die zweite und dritte Spalte der folgenden Tafel enthalten die geschätzte Anzahl der Sechszehtöne. Wenn also die Musiker den Unterschied gleich einem halben Ton angaben, habe ich 8 eingeschrieben. Immer haben sie den kommenden Ton höher, und den gehenden tiefer gehört als den objectiven, und daher war es nicht nötig, die Zahlen jeder ersten Zeile mit + und die jeder zweiten mit — zu bezeichnen.

Die vierte Spalte enthält die Anzahl der Schwingungen der subjectiven Töne nach der Theorie, die Anzahl der Schwingungen des objectiven Tons gleich 1000 gesetzt. Eine dritte Zeile, die hinzugefügt worden, enthält den Unterschied im Vorbeifahren, also den Unterschied des kommenden und gehenden Tons unter sich; in ihr bezeichnet die theoretische Zahl die Anzahl der Schwingungen des kommenden Tons, bezogen auf den gehenden, wenn die Anzahl der Schwingungen des letzteren gleich 1000 angenommen wird. Auf diese Weise ist das Nichtstimmen der Instrumente und der Einfluß der Windesrichtung eliminiert. In dieser Zeile sind denn auch, wie zu erwarten, die Unterschiede kleiner, wenn man nur den guten Werth für einen halben Ton nimmt.

Um das genaue Verhältnis zweier Töne, die um einen halben Ton differiren, anzugeben, hatte ich Chladni's Akustik zu Rathe gezogen. Es konnte mir aber nicht viel helfen, da ich in meinem Fall zu wissen wünschte, nicht wie das theoretische Verhältnis war, sondern was die Musiker einen halben Ton nannten, ob sie, wann *g* geblasen wurde, *ges* oder *gis* für einen halben Ton tiefer oder höher hielten, oder ob sie das gleich schwebende Verhältnis  $\sqrt[12]{2}$  annahmen. Ich mußte also die Musiker selber dieserhalb befragen, konnte aber von allen keine

bestimmte Antwort erhalten; da nun der eine unmöglich für den andern sprechen konnte, so entschloß ich mich, ihre Angaben nach beiden Hypothesen zu berechnen. Die fünfte Spalte giebt also den Unterschied der theoretischen Schwingungs-Anzahl mit der Mittelzahl aus den Angaben beider Beobachter, berechnet nach dem Verhältniß  $\sqrt[1]{2}$ . Die sechste enthält den Unterschied mit derselben Mittelzahl, aber berechnet nach dem Verhältniß  $\frac{2}{7} \frac{5}{4}$  für den kommenden, und nach  $\frac{2}{7} \frac{4}{5}$  für den gehenden Ton.

Am 3. Juni befand sich nur ein Beobachter auf jeder Station; ich brauchte also dannals die theoretische Zahl nicht mit der Mittelzahl aus zwei Beobachtungen zu vergleichen, da nur eine einzige Angabe vorhanden war. An diesem Tage missglückten die Beobachtungen auf der Station *C*, und die auf der Locomotive gingen verloren, so daß nur zwei Reihen übrig blieben. An den Reihen selbst wird man leicht erkennen, welchen Werth die Musiker dem halben Ton gegeben haben, da die eine viel besser der ersten, die andere viel besser der zweiten Hypothese genügt. Es ist eine Reihe von Beobachtungen darunter, welche sich durch Genauigkeit und Consequenz auszeichnet; sie stammt von Hrn. Dannen. Dieser ausgezeichnete Musiker befand sich am 3. Juni einmal auf der Station *C*, ward aber am 5. Juni mit auf die Locomotive genommen, weil ich ihn aus seinen Beobachtungen sogleich als den geschicktesten erkannt hatte, und weil überdies eine Vertauschung der Standorte von Nutzen war. Leider zeichnete er diesmal nur das Mittel aus den im Vorbeifahren an den drei Stationen beobachteten Tondifferenzen auf, und nicht jede für sich, was offenbar nicht nöthig gewesen wäre, wenn die Locomotive eine ganz gleichförmige Geschwindigkeit gehabt hätte; allein am 5. Juni war dies sehr wünschenswerth, da die an diesem Tage benutzte Locomotive von anderer Construction wie die fröhre war und sie von

dem Maschinisten nicht mit gleicher Geschwindigkeit an den verschiedenen Stationen vorbeigeführt ward.

## §. 6.

## Beobachtungen am 3. Juni.

Thermometer  $20^{\circ},8$  C., Barometer  $750\text{mm},09$ . Dampfdruck  $9\text{mm},16$ .  
Schallgeschwindigkeit = 346 Met.

[Es bedeutet *K* die Beobachtung im Kommen, *G* die im Gehen,  
*V* die im Vorbeifahren.]

## Station A.

Geschwindigkeit.	Beobachteter Unterschied.		Unterschied zw. theoret. u. beobacht. Zahl für		$\frac{12}{12} \mid \frac{24}{24}$
	Theor.	Schwingungs-Anzahl.	$\frac{12}{12}$	$\frac{24}{24}$	

Die erste Beobachtung mitslang gänzlich, weil nichts gehört wurde.

II. $\begin{cases} G. 14,8 \\ K. 14,5 \\ G. 14,1 \\ V. 14,3 \end{cases}$	5	957	- 8	- 19	
III. $\begin{cases} G. 14,8 \\ G. 14,1 \\ V. 14,3 \end{cases}$	5	1042	+ 5	+ 16	
IV. $\begin{cases} G. 17,9 \\ G. 16,7 \end{cases}$	6	948	- 10	- 22	
V. $\begin{cases} G. 16,7 \\ G. 20,0 \end{cases}$	7	952	0	- 13	
VI. $G. 20,0$	8	939	- 5	- 21	

## Station B.

Geschwindigkeit.	Beobachteter Unterschied.		Unterschied zw. theoret. u. beobacht. Zahl für		$\frac{12}{12} \mid \frac{24}{24}$
	Theor.	Schwingungs-Anzahl.	$\frac{12}{12}$	$\frac{24}{24}$	

II. $\begin{cases} G. 15,3 \\ G. 15,5 \\ V. 15,4 \end{cases}$	5	1044	- 7	+ 18	
III. $\begin{cases} G. 12,8 \\ G. 12,2 \\ V. 12,5 \end{cases}$	5	955	- 10	- 20	
IV. $\begin{cases} G. 15,8 \\ G. 15,0 \\ V. 15,4 \end{cases}$	7	1093	+ 20	+ 41	
V. $\begin{cases} G. 15,6 \\ G. 15,2 \\ V. 15,4 \end{cases}$	8	1037	0	+ 11	
VI. $G. 19,5$	5	965	0	- 10	
		10	1074	0	+ 22
		7	1046	- 5	+ 9
		5	957	- 8	- 18
		12	1093	+ 5	+ 31
		8	1045	- 14	+ 3
		5	956	- 9	- 19
		13	1093	- 3	+ 25
		5	941	- 14	- 34

## Beobachtungen am 5. Juni.

Thermometer  $18^{\circ},4$  C., Barometer  $755\text{mm},6$ . Dampfdruck  $10\text{mm},83$ .  
Schallgeschwindigkeit = 344,7 Met.

## Station C.

Geschwindigkeit.	Beobachteter Unterschied.		Theoret. Schwingungs-Anzahl.	Unterschied zw. theor. Zahl u. Mittelzahl für den halb. Ton =	
	$\overbrace{1}^{\text{1}}$	$\overbrace{2}^{\text{2}}$		$\overbrace{\frac{12}{12}}^{\text{12}}$	$\overbrace{\frac{24}{24}}^{\text{24}}$
I. $\begin{cases} K. 8,3 \\ G. 10,6 \\ V. 9,4 \end{cases}$	6	4	1024	- 13	- 2
	8	8	969	+ 25	+ 9
	14	12	1057	- 38	- 11

Geschwindigkeit.	Beobachteter Unterschied.		Theoret. Schwingungs-Anzahl.	Unterschied zw. theor. Zahl u. Mittelzahl für den halb. Ton =		
	1	2		$\frac{12}{12}$	$\frac{24}{23}$	
II.	K. 12,5	6	4	1036	- 1	+ 10
	G. 14,3	8	8	958	+ 14	- 2
	V. 13,4	14	12	1081	- 14	+ 12
III.	K. 9,1	8	8	1026	- 33	- 16
	G. 10,1	6	4	971	+ 6	+ 4
	V. 9,6	14	12	1056	- 39	- 12
IV.	K. 9,6	8	8	1028	- 31	- 14
	G. 11,8	8	8	966	+ 22	+ 6
	V. 10,7	16	16	1066	- 52	- 20
V.	K. 12,5	2	8	1036	- 1	+ 10
	G. 12,6	2	8	963	- 2	- 12
	V. 12,5	4	16	1075	+ 1	+ 22
VI.	K. 9,5	-	-	1027	--	--
	G. 11,1	-	-	968	--	--
	V. 10,3	9	12	1057	- 19	+ 9

## Station B.

I.	K. 9,5	7	8	1027	- 28	- 15
	G. 10,6	1	0	969	- 27	- 28
	V. 10,1	8	8	1059	0	+ 17
II.	K. 14,3	7	7	1043	- 8	+ 6
	G. 13,3	4	2	961	- 18	- 24
	V. 13,8	11	9	1085	+ 11	+ 33
III.	K. 11,1	7	7	1032	- 19	- 5
	G. 10,5	4	4	969	- 3	- 11
	V. 10,8	11	11	1065	- 16	+ 8
IV.	K. 11,1	7	7	1032	- 19	- 5
	G. 13,3	5	0	961	- 11	- 16
	V. 12,2	12	7	1074	- 8	+ 13
V.	K. 14,3	0	0	1042	+ 42	+ 42
	G. 14,3	14	12	958	+ 49	+ 23
	V. 14,3	14	12	1088	- 8	+ 22
VI.	K. 11,1	8	8	1032	- 27	- 10
	G. 11,1	6	2	967	- 5	- 13
	V. 11,1	14	10	1067	- 19	+ 5

## Station A.

I.	K. 9,5	2	8	1027	- 10	+ 1
	G. 8	8	6	978	+ 27	+ 13
	V. 8,8	10	14	1050	- 38	- 12
II.	K. 14,3	2	8	1043	+ 6	+ 17
	G. 16	8	8	953	+ 9	- 7
	V. 15 1	10	16	1094	- 2	+ 25

Geschwindigkeit.	Beobachteter Unterschied.		Theoret. Schwingungs-Anzahl.	Unterschied zw. theor. und mittlerer Zahl für den halb. Ton =	
	1	2		$\frac{12}{11}$	$\frac{24}{23}$
III. { K. 11,1	0	0	1032	+32	+32
III. { G. 12,5	9	12	963	+35	+15
III. { V. 11,8	9	12	1072	-3	+17
III. { K. 12,5	8	8	1036	-23	-6
IV. { G. 15,4	8	8	955	+11	-5
IV. { V. 14	16	16	1085	-33	0
IV. { K. 16,7	4	2	1051	+29	+36
V. { G. 14,3	8	9	958	+17	0
V. { V. 15,5	12	11	1097	+13	+37
V. { K. 11,1	8	1	1032	-1	+9
VI. { G. 12,5	1	8	963	-6	-14
VI. { V. 11,8	9	9	1074	+7	+26

## Locomotive.

I. { K. 14,4	6	1043	-1	+11
I. { G. 14,2	6	958	0	-12
I. { V. 14,3	12	1089	-1	+27
I. { K. 15,0	5	1044	+7	+18
II. { G. 15,8	8	954	+10	-6
II. { V. 15,4	13	1094	-2	+26
II. { K. 5,5	4	1016	-13	-4
III. { G. 5,5	4	984	+12	+4
III. { V. 5,5	8	1035	-25	-7
III. { K. 5,1	4	1015	-14	-5
IV. { G. 4,9	4	986	+14	+6
IV. { V. 5	8	1031	-28	-11
IV. { K. 14,3	8	1042	-13	0
V. { G. 14,1	8	959	+15	-1
V. { V. 14,2	16	1088	-28	+2
V. { K. 18,3	8	1053	-6	+11
VI. { G. 18,4	8	947	+3	-13
VI. { V. 18,3	16	1106	-10	+20

## §. 7.

Man sieht also, dass im Allgemeinen die Theorie bestätigt wird. Die Unterschiede schwanken in Plus und Minus: meist sind sie in den beiden Hypothesen von entgegengesetztem Zeichen oder verschwinden fast in einer von ihnen. Man bedenke nur, dass selbst ein Unterschied von 10 Schwingungen verschwindend klein ist.

Einige Unregelmässigkeiten lassen sich vielleicht durch

Folgendes beseitigen. Eine erste ist darin begründet, dass einige der Musiker läugneten, der kommende Ton sey auf grosse Entfernungen höher als der objective. Sie schrieben die Erhöhung, wie sie sagten, der vorüberfliegenden Lust zu, gestanden aber alle, dass der gehende Ton in jeder Entfernung tiefer bleibe, und schon darin liegt eine Inconsequenz. Diese Ansicht gründete sich auf Beobachtungen entweder der Töne von Signaltrompeten oder der, welche die Pfeife der Locomotive einmal angab, und welche darauf von einem Musiker auf derselben Höhe gehalten ward. Im ersten Falle ist sehr zu vermutthen, dass man den Ton der Trompete von den andern Stationen mit dem der Locomotive verwechselte, und dann musste sich freilich der Ton nicht verändern; im anderen Fall weiss ich nicht, ob der Ton der Pfeife rein genug, frei von begleitendem Geräusche war. Die Musiker auf der ersten Station *C* konnten gar nicht darüber entscheiden, da die Locomotive auch in grosser Entfernung noch lange nicht die Geschwindigkeit erlangt hatte, mit der sie hernach vorbeifuhr. Die Beobachter der Station *B* haben es nicht angegeben; die Angaben von *A* würden von grosser Autorität seyn, wenn nicht alle für den kommenden Ton zu gering wären. Dies erweckt die Vermuthung, dass die Instrumente dieser Station sich verstimmt hatten. Ich wollte dies nur erwähnen, weil mehre es behaupteten, glaube aber doch, dass jene Angabe auf einer Täuschung beruht.

Eine zweite Anomalie ist darin zu bemerken, dass man den kommenden Ton weniger erhöht, als den gehenden erniedrigt gehört hat. Es ist dies weniger aus den obigen Angaben zu ersehen, als es aus den mündlichen Mittheilungen anfangs hervorging. Dieser Umstand erklärt sich aber, da er nicht bei allen Beobachtungen stattgefunden hat, aus einem leichten Verstimmen des Instruments (immer das auf der Station *A*), aus der beinahe immer im Zunehmen begriffenen Geschwindigkeit

der Locomotive und aus einem physiologischen Gegensatz. Man hörte den kommenden Ton etwas höher, dann unterhalb 20 Meter ein bischen weniger höher und darauf schneller abnehmen bis auf den tiefsten Ton; man verglich ihn aber dann vielleicht nicht mit dem objectiven Ton, sondern mit dem, welchen man einen Augenblick zuvor gehört hatte. Dies würde zugleich erklären, weshalb man die Unterschiede durchgängig etwas zu gross hörte; man hatte nämlich das Steigen des kommenden Tons bereits angegeben und fügte nun einen zu grossen Unterschied für den gehenden hinzu, wodurch auch die Summe zu gross ward. Ich gebe diese Erklärung gern für eine bessere hin, besonders da ich selbst nicht über die Unterschiede entscheiden kann; ich habe wohl jedesmal die Verschiedenheit der beiden subjectiven Töne gehört, bin aber nicht musicalisch genug, um die Unterschiede zu schätzen, geschweige denn, um den Unterschied von Unterschieden angeben zu können.

Die Basis der Doppler'schen Theorie bestätigen, heißt noch nicht mit der Anwendung derselben auf die Farben der Doppelsterne einverstanden seyn; so kann ich es nicht, weil mir der aus dieser Theorie gezogene Schluss nicht richtig zu seyn scheint. Um nämlich denselben mit voller Gewissheit ziehen zu können, müfsten folgende Prämissen als bewiesen anzusehen seyn:

- 1) Dafs man berechtigt sey, die obigen Resultate vom Schall auf das Licht zu übertragen;
- 2) dafs die Sterne in einigen Theilen ihrer Bahn eine hinlängliche Geschwindigkeit besitzen, um eine merkbare Färbung und Farbenänderung zu erfahren;
- 3) dafs die Doppelsterne wirklich eine solche Färbung und Farbenänderung erleiden, wie sie nach dem besagten Satze erfahren müfsten;
- 4) dafs kein anderer Erklärungsgrund eben so leicht vorhanden sey;

5) **dafs keine Thatsache die Anwendung der Doppler'schen Theorie auf die Farben der Doppelsterne wider spreche.**

Nur die erste dieser Bedingungen gebe ich unmittelbar zu. Was die zweite betrifft, so scheint auch sie mir keine bedeutende Schwierigkeit darzubieten, aber mich dünkt doch, dafs die Sterne nur selten eine hinlängliche Geschwindigkeit haben werden, um uns das Farbenphänomen zu zeigen; es fällt diess sogleich in die Augen, wenn man bedenkt, dafs sowohl Dr. Bolzano<sup>1)</sup> als Prof. Doppler in der Beurtheilung dieser Hinlänglichkeit zu weit gegangen sind: der Erste, weil er den Sternen im Allgemeinen eine zu grosse Geschwindigkeit beilegt; der Andere, weil er dem menschlichen Auge eine grosse Empfindlichkeit für das Licht zutraut.

Nicht dafs ich den Sternen alle eigene Bewegung absprechen und wieder zu Fixsternen machen will: ich meine nur, dafs der Dr. Bolzano durch einen falschen Schluss auf eine zu grosse Geschwindigkeit gerathen sey. Nach ihm soll nämlich die Geschwindigkeit der Hauptplaneten gröfser seyn, als die der Satelliten, und darnach vermutet er, dafs die Geschwindigkeit der Fixsterne auch gröfser sey als die der Hauptplaneten. Ersteres ist aber ohne Ausnahme nicht ganz der Fall. Jeder der Jupitertrabanten bewegt sich schneller als der Uranus, der zweite dieser Trabanten schneller als die beiden letzten Planeten, und der erste Trabant des Jupiters, so wie der erste des Saturns, schneller als der respective Hauptplanet. Die Satelliten des Uranus sind noch nicht genugsam beobachtet; wahrscheinlich giebt es deren noch nähere als wir kennen, und dann könnten auch einige darunter seyn, die schneller gingen als ihr Hauptplanet. Freilich mußt man zugeben, dafs bereits die Erde sich mit gröfserer Geschwindigkeit bewegt als selbst der schnellste

1) Dies. Annal. Bd. 60, S. 83.

der Satelliten; aber man hat darum noch kein Recht den Schluss allgemein auf die Fixsterne auszudehnen, deren gegenseitige Abstände, falls sie nicht physische Doppelsterne sind, ein weit grösseres Verhältniss haben zu den Abständen der Hauptplaneten, als die Halbaxen der Bahnen dieser zu den Abständen der Satelliten, und folglich müfsten sie auch ein weit grösseres Verhältniss von Masse haben, was nicht wahrscheinlich ist und nicht mit den Annahmen von Argelander, Bravais und Mädler übereinstimmt<sup>1)</sup>). Es verhält sich also mit der Geschwindigkeit ganz so wie Prof. Doppler sagt, und die Voraussetzung des Dr. Bolzano ist eine Uebertreibung.

Glaubte ich in dieser Hinsicht von Hrn. Dr. Bolzano's Meinung abweichen zu müssen, so kann ich doch andererseits auch Hrn. Prof. Doppler nicht beistimmen, wenn er sagt, schon das Austreten von einem Hundertel der zum weissen Licht gehörigen rothen Strahlen sey merkbar für das menschliche Auge. Ich erinnere mich nicht, solches bei Herschel, der dafür als Autorität angeführt wird, gelesen zu haben, habe es auch in dessen *Traité de la Lumière*, von welchem ich die Ausgabe von Quetelet und Verhulst, mit den Zusätzen dieser Gelehrten, besitze, nicht auffinden können, wohl aber eine Stelle (p. 309 §. 510), welche zu einem entgegengesetzten Schlusse führt. Herschel sagt nämlich daselbst, dass man 1,000,000 Tinten erlange, wenn man die drei Farben, Roth, Gelb und Blau (in der Brewster'schen Hypothese) in verschiedenen Verhältnissen von 1 bis 100 menge; und er fügt hinzu: *ce qui est plus que suffisant*

1) Da man vielleicht nicht geneigt ist, die ausführlichen Abhandlungen der genannten Gelehrten nachzulesen, so will ich beispielsweise anführen was Prof. Kaiser in seinem Werke: *De sterrenhemel verklaard* p. 283 sagt: „*De ster, welche de snelste eigen beweging heeft, beweegt zich in een uur 33500 D. G. mijlen etc.*“, was noch nicht 10 Meilen in der Secunde beträgt.

*pour exprimer toutes les nuances que l'oeil peut distinguer. On dit que les romains imitaient dans leurs mosaïques plus que 30000 tinctes: en supposant même que la nature nous offre un nombre dix fois plus grand, elles se trouveront toutes dans notre échelle.*

Es fragt sich nun noch, ob man, bei ruhiger Betrachtung und genügend starker Beleuchtung, die supponirten 300000 Nuancen würde unterscheiden können; es hätten besonders die Maler darüber zu entscheiden. Hiezu brauchte man aber bereits das Austreten von 0,03 der rothen Strahlen, und also wenigstens eine dreifache Geschwindigkeit, wie Hr. Prof. Doppler annimmt. Zieht man dazu noch in Betracht, daß die Sterne selten ruhig genug stehen, um nicht beim Funkeln ein wenig gefärbt zu seyn, daß sie bereits durch die Dispersivkraft der Atmosphäre Farben zeigen <sup>1)</sup>), daß sie nicht gleichzeitig, nicht einmal von derselben Person mit sich selbst verglichen werden können; erwägt man, daß selbst die absolute Lichtstärke, welche doch noch leichter als die Farbe bestimmbar zu seyn scheint, schwerlich ohne Hülfe von Instrumenten bis auf  $\frac{1}{60}$  bestimmt werden kann <sup>2)</sup>), und daß man in der chromatischen Photometrie noch immer sehn suchtvoll auf die Untersuchungen und Instrumente Arago's zu warten hat, obwohl derselbe neuerlich wieder Hoffnungen darauf angeregt hat <sup>3)</sup>), so wird man sich nicht wie Hr. Dr. Bolzano wundern, daß man bei den übrigen Fixsternen solche Unterschiede noch nicht wahrgenommen hat, wird auch nicht mit Hrn. Prof. Doppler eine Geschwindigkeit von 33 Meilen in der Secunde für genügend halten, um jenen Farbenunterschied hervorzurufen. Somit würden also nur die physischen Doppelsterne zu betrachten übrig bleiben.

1) Bessel, *Comptes rend.* T. XV, p. 181.

2) Argelander, in Schumacher's astronom. Jahrbüche für 1844, S. 185 und 206.

3) Arago, *Compt. rend.* T. XX, p. 1704.

## §. 10.

Untersuchen wir demnach, ob es wahr sey, daß die Doppelsterne wirklich solche Färbung und Farbenänderung erleiden, wie aus dem in Rede stehenden Satz würde erklärt werden können.

Es ist nicht genug zu sagen: die Farben einiger Doppelsterne ändern sich, viele stehen zu einander im Gegensatz, sind complementar, also müssen sie aus der Bewegung erklärt werden; vielmehr muß untersucht werden, in welchem Zahlenverhältnis solche Doppelsterne zu den übrigen stehen, um einigermaßen entscheiden zu können, ob man ihrer Bewegung mit einiger Wahrscheinlichkeit zuschreiben könne, was ihnen selbst vielleicht angehört. Um Zahlen von Autorität anzuführen, würde ich hier den competentesten Richter<sup>1)</sup> selber sprechen lassen können; es wäre dies besser als, nach meinem früheren Plane, aus der Abhandlung von Herschel und South in den *Transactions* der *Royal Astronomical Society* *T. I* und *III* etc. die farbigen Sterne aufzuzählen; allein, der Raumersparung wegen, werde ich mich doch damit begnügen, nur auf die Abhandlung von Struve zu verweisen; man wird bei Lesung derselben gestehen müssen, daß sie, so viel Angaben, so viel auch Widersprüche gegen den Doppler'schen Fundamentalsatz enthält<sup>2)</sup>.

Daß beide Sterne einerlei Farben haben, ist bei weitem der häufigere Fall, sagt der große Beobachter. Aber in diesem Fall ist die Farbe nur aus der relativen Bewegung des Sternenpaares und unseres Planetensystems zu erklären, und die Doppelsterne stehen in dem nämlichen Verhältnis zu uns, wie die einzelnen Sterne, haben also keine hinlängliche Geschwindigkeit, daß von 476 gleich gefärbten Paaren, lediglich durch Bewegung

1) Struve, über die Doppelsterne nach den Dorpater Mikrometer-Beobachtungen. Bericht an Se. Excell. v. Uwaroff. S. 34—36.

2) Doppler a. a. O. §. 7.

118 gelblich oder röthlich und 63 bläulich erscheinen. Auch wäre es nicht leicht einzusehen, aus welchem Grunde sich denn fast zweimal so viel Sterne von uns entfernen, als sich uns nähern sollen. Dagegen kommen 16 Paare mit sehr großer Geschwindigkeit auf uns zu, deren Hauptstern grün und deren Begleiter blau ist; man weise nun die Kraft nach, durch welche sie mit Wahrscheinlichkeit eine solche Geschwindigkeit erlangt haben.

Die Färbung spricht also nicht gar sehr für die Anwendbarkeit der Theorie des Hrn. Prof. Doppler, wenn es wahr ist, wie wir §. 10 gezeigt haben, daß uns nur die physischen Doppelsterne solche Geschwindigkeit darbieten können, indem sich die oben erwähnten Färbungen nur aus der Bewegung des Sternenpaars, nicht aus der gegenseitigen Bewegung der beiden Sterne erklären lassen. Aber auch die Sternenpaare, welche complementare oder fast complementare Farben zeigen, sprechen nicht sehr dafür, denn wir müssen dann annehmen, daß fast alle Hauptsterne sich von uns entfernen, alle Begleiter sich uns nähern; bei 157 solchen Paaren sind 53 Hauptsterne weiß, 52 hellgelb, 52 gelb oder röthlich, die Begleiter alle blau oder bläulich, und es gibt nur wenige Paare, 13, in denen der Begleiter purpurfarben ist.

### §. 11.

Auch die Farbenänderung ist Hrn. Prof. Doppler weit weniger günstig, als man nach seinen Worten erwarten würde. „Kein Wunder also, lesen wir S. 12, wenn sich neuere Beobachter (Siehe Mädler's populäre Astronomie, S. 493) zu der Frage aufgefordert fühlen, ob sich denn in der That die Farben der Doppelsterne während der letzten 50 Jahre so gar bedeutend sollten geändert haben.“ Wenn wir aber Mädler aufschlagen, so finden wir S. 500: „Haben diese Sterne (die beiden von  $\gamma$  Delphini) ihre Farbe seit 50 Jahren so stark verändert,“ und S. 493 heißt es '): „Es kommen zwar zwi-

1) Der erste nun folgende Satz stimmt fast wörtlich mit der Aufse-

schen Herschel und Struve manche kleine Verschiedenheiten der Farbenbezeichnung vor, jedoch meist so, dass bei Herschel die Sterne um ein Geringes mehr in's Rothe spielen, was durch eine Eigenthümlichkeit des Teleskops zu erklären seyn dürfte. Hier aber zeigt sich, und zwar bei einem Sternenpaar, dessen Farben sich mit Bestimmtheit aussprechen, das Gegentheil, und man muss demnach vermuthen, dass es seine Farbe seit jener Zeit merklich geändert habe, was übrigens in der Fixsternwelt nicht gänzlich ohne Beispiel ist." Das klingt doch wenigstens etwas schwächer.

Das Schönste von allem aber ist, dass gerade auf die zwei Sternenpaare,  $\gamma$  Leonis und  $\gamma$  Delphini, auf welche diese Worte anwendbar seyn sollten, die Theorie des Hrn. Doppler in keinem Falle passen kann, denn sie haben in diesen 50 Jahren ihre gegenseitigen Abstände nicht geändert, und was die Positionswinkel betrifft, so hat  $\gamma$  Leonis diesen um  $22^\circ$  und  $\gamma$  Delphini den seini gen gar nicht geändert. Es kann sich also die Richtung und Grösse der Bewegung keinesweges in der Weise geändert haben, dass daraus eine solche Farbenänderung würde hervorgehen können.

Auch Sirius wird wohl nicht viel beweisen, und (S. 17) die Bahnen der sogenannten neuen und verschwundenen Sterne so einzurichten, dass sie alle Farben des Regenbogens durchlaufend endlich mit kupferrothem Lichte verschwinden, würde doch auch schwer halten. Abgerechnet, dass ich diesen Farbenwechsel nicht von allen angeführt finde, möchte ich auch fragen, ob sie angefangen haben, uns mit einem grün- oder bläulichen Lichte sichtbar zu werden. Dies mag genügen, um zu zeigen, dass die Färbung und Farbenänderung, die wir hier und da an den Doppelsternen wahrnehmen, uns nicht nöthigen, ihre Erklärung in der Bewegung zu suchen.

ung von Struve a. a. O., S. 36, überein, widerspricht dagegen schnurstraks Hrn. Doppler S. 12.

## §. 12.

Zuvörderst müssen wir nun untersuchen, ob es nicht einen anderen bekannten Erklärungsgrund gebe, zumal die Bewegung, wie wir im folgenden Paragraphen zeigen werden, nicht einmal im Stande ist, merkliche Farbenänderungen hervorzubringen. Es ist, wie mich dünkt, eine ganz willkürliche Annahme, dass die Farbe aller Sterne weiss und unveränderlich sey. Es ist doch nicht leichter, jedem Stern diejenige Richtung und Geschwindigkeit anzudichten, welche er, in der Hypothese einer weissen objectiven Farbe, haben muss, um diejenige Farbe zu zeigen, welche wir an ihm wahrnehmen, — als anzunehmen, dass die Fixsterne alle möglichen Farben besitzen können. Dass sie jedenfalls nicht alle weiss sind, beweisen die Beobachtungen genugsam, und läugnet auch Prof. Doppler nicht. Am Ende muss man denn doch seine Zuflucht zu der Voraussetzung nehmen, dass die verschiedenen Sterne nicht alle eine gleiche objective Farbe haben. Es liegt nichts Ungereimtes in der Annahme, dass verschiedene Sterne verschiedene Farben hervorzubringen fähig seyen. Ueberdies haben wir auch directe Beweise, dass sie wirklich nicht einerlei Farbe haben. Nach den Beobachtungen von Fraunhofer zeigt das Sonnenspectrum andere dunkle Linien als die Spectra mehrer Sterne, und da nun also das Licht solcher Sterne, ungeachtet es durch dieselbe Atmosphäre unserer Erde gegangen ist, wie das Sonnenlicht, sich doch von diesem verschieden zeigt, so sind wir zu schliessen berechtigt, dass es in der That von diesem verschieden ist. Aber wie denn die Veränderlichkeit der Farbe und die veränderlichen Sterne erklären? Ich sehe hier keine grosse Schwierigkeit, diese Veränderlichkeit den Sternen selbst zuzuschreiben. Es würde interessant sein, Fraunhofer's Messungen auf solche Sterne auszudehnen, die wohl periodisch ihre Intensität, aber nicht ihre Farbe ändern. Uebrigens möchte das periodische Verschwin-

den der veränderlichen Sterne eben so leicht durch die sonstigen Hypothesen, wie unwahrscheinlich sie auch an sich seyn mögen, als durch die sinnreiche und im ersten Augenblick wahrscheinliche, aber hier unzulässige Theorie des Hrn. Doppler erklärt werden.

§. 13.

Man wird dieses um so leichter eingestehen, als endlich die Bewegung nicht Ursache des Farbenwechsels seyn kann. Bereits die Analogie bei dem Schalle lehrt es. Als ich zu Anfang dieses Jahres einen Musiker nach dem muthmaßlichen Erfolg der von mir beabsichtigten Versuche befragte, sagte er mir und Andere sagten es ihm nach: „Sie dürfen nicht hoffen, dass dieselben ein Resultat geben werden, denn ich habe in dem Geräusche eines vorbeifahrenden Wagens niemals eine Aenderung gehört.“ Auch die Musikanten, als sie zum erstenmale auf der Eisenbahn waren und der gewöhnliche Wagenzug uns mit grosser Geschwindigkeit vorbeifuhr, sagten mir, obgleich ich sie vorher darauf aufmerksam gemacht hatte, sie hätten keinen Tonunterschied bemerkt, denn es sey ein Geräusch, kein Ton. Eben so ist die Farbe der Doppelsterne ein Gemisch von Farben, keine einfache Farbe. Was muss also in beiden Fällen stattfinden?

Bekanntlich ist ein Geräusch als ein Gemisch verschiedener Töne zu betrachten, wie Ohm dies dargethan zu haben scheint, oder man muss annehmen, es sey gar kein Ton darin, sondern bestehe aus Wellen von verschiedener Länge, deren keine sich so oft regelmässig folge, dass sie im Ohr die Wahrnehmung eines Tons hervorrufe. Dies ist mir gleich; in jedem Falle haben wir Wellen von verschiedener auf einander folgender Länge. Bei Annäherung also werden die längeren Wellen zu kürzeren, diese wieder zu noch kürzeren, und jede nimmt die Stelle der ihr in Kürze folgenden ein, so dass am Ende das gesamte Geräusch keine andere Veränderung erlitten hat, als dass die längste Welle auf-

gehört hat, als solche wahrnehmbar zu seyn, und eine allerkürzeste hinzugekommen ist.

Aber darin eben ist der Grund zu suchen, dass die Sterne eine Farbenänderung erleiden, wird man mir entgegnen, und das reicht auch hin sie zu erklären: die rothen Wellen werden zu orangefarbenen, diese zu gelben, u. s. w., bis endlich die violetten unsichtbar, unwahrnehmbar werden; es fehlen also in dem Spectrum die rothen Strahlen und die Farbe des Sterns ist nicht mehr rein weiss, sondern in's Violette oder Blaue spielend. Das Gegentheil findet beim Entfernen statt.

Bei oberflächlicher Betrachtung des Gegenstandes mag dieser Einwurf richtig scheinen; aber er ist es nicht, denn man darf die Analogie nicht weiter treiben, als sie wirklich besteht, und darum ist auch die Anwendung eine falsche. Für das Auge sind nur sehr wenig Lichtwellen sichtbar: die Längegränzen, zwischen welchen sie wahrnehmbar sind, liegen einander sehr nahe. Wenn beim Geräusch ein neuer Ton hinzukommen kann und eine Welle, welche früher die längste war, bei der Annäherung aufhört als solche wahrgenommen zu werden und in eine etwas kürzere übergeht, so muss man dagegen beachten, dass beim Lichte die neue Farbe auch unsichtbar ist, und, beim Entfernen, die Stelle des Violetts durch eine kürzere, früher unsichtbare Welle eingenommen wird, mithin das Spectrum in seiner Reinheit wiederhergestellt ist, d. h. ganz zu dem geworden ist, was es früher war. Auch selbst wenn die Geschwindigkeit so gross wäre, dass die vormals violetten Strahlen zu rothen, oder umgekehrt diese zu jenen würden und der ganze übrige Theil des Spectrums verschwände, so wären doch immer noch genug unsichtbare, aus kürzeren oder längeren Wellen bestehende Strahlen da, um das übrig gebliebene Licht zum vollkommenen Spectrum zu ergänzen. Dieses nun eben findet im Allgemeinen bei dem Geräusche nicht statt, und dennoch ist selbst bei ihm die Veränderung nicht merkbar.

## §. 14.

Es wird leicht zu erweisen seyn, daß dieser Satz keine bloße Annahme, sondern in der Natur begründet ist, denn erstlich würde das Gegentheil unwahrscheinlich seyn, und zweitens auch der bisherigen Erfahrung geradezu widersprechen.

In der Theorie der Bildung von Aetherwellen liegt kein Grund, warum vorzugsweise Schwingungen von einer gegebenen Länge erregt werden sollten, eben so wenig wie dies bei den Schallwellen stattfindet. Es hängt nur von der Natur des schwingenden Körpers ab, ob schnellere oder langsamere Schwingungen erregt werden. Es würde demnach sehr sonderbar seyn, wenn nur diejenigen Schwingungen hervorgerufen würden, welche für das menschliche Auge sichtbar sind. Ueberdies widerspricht es der Analogie mit dem Schalle, denn in der Luft können bestimmt Wellen erregt werden, die für die Wahrnehmung durch das Ohr zu lang oder zu kurz sind.

Das Gegentheil ist also sehr unwahrscheinlich; es ist aber auch der Erfahrung zuwider. Ich werde, um mich nicht in Hypothetisches zu verwickeln, unberücksichtigt lassen, daß dies- und jenseits des Lichtspectrums chemische, wärmende oder anderweitige Strahlen vorhanden sind, zumal ich es für sehr wahrscheinlich halte, daß diese Strahlen nicht in leuchtende übergehen können, sondern von den Lichtstrahlen durch eine solche Modification der Wellen unterschieden sind, wie wir beim Schalle *Klang* nennen, — vielmehr will ich mich nur auf die Lichtstrahlen beschränken.

Herschel, und Einige mit ihm, haben außerhalb des für uns unsichtbaren Violetts noch Strahlen von Lavendelfarbe gesehen. Diese Strahlen müssen also nothwendig zu violetten werden, und vielleicht könnte ein Anderer noch jenseits dieser Lavendelstrahlen eine andere Farbe wahrnehmen. Besonders wird meine Behauptung verstärkt durch die vor etwa dreißig Jahren

von Arago gemachte Beobachtung, dass der Brechungsindex des von Gestirnen auf die Erde gesandten Lichts ungeändert bleibt, die Erde mag sich ihnen nähern oder von ihnen entfernen<sup>1</sup>). Diese Beobachtung ist nun nicht anders zu erklären als durch die Annahme Arago's<sup>2</sup>): „que les corps lumineux émettent des rayons avec toutes les vitesses possibles et que dans l'ensemble de ces vitesses une seule produit la sensation de lumière, ce qui rend compte aussi de l'égalité de vitesse apparente des rayons de toutes les étoiles.“ Wenn man dies in die Sprache der Undulationstheorie übersetzt, und bedenkt, dass es im freien Aether nur Eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit geben kann<sup>3</sup>), so muss man annehmen, dass die Gestirne Wellen von unendlich verschiedener Oscillationsgeschwindigkeit aussenden, und dass von der Gesamtheit dieser Oscillationsgeschwindigkeiten nur diejenigen die Empfindung des Lichts und einer bestimmten Farbe erregen, welche wir als solche im Sonnenspectrum haben kennen gelernt. Sind dann auch die Strahlen, welche bei relativer Ruhe der Erde sichtbar waren, in Folge der Bewegung mehr oder weniger abgelenkt als früher, so ist doch auch zugleich die Oscillationsgeschwindigkeit eine andere geworden. sie haben dadurch ihre Farbe geändert, und andere, früher unsichtbare Strahlen haben ihre Stelle und Natur genau ein- und angenommen. Nur eine Schwierigkeit bleibt mir noch zu beseitigen; sie entspringt daraus, dass man den verschiedenen Farben

1) Man findet sie auseinandergesetzt in Biot's *Traité d'Astronomie physique* Edit. III, T. III, p. 139 et 141.

2) Die Erklärung, welche Fresnel in Aufforderung von Arago gegeben hat, ist nicht haltbar. *Ann. de phys. et de chimie* T. IX, p. 58; auch gegen die Erklärung Cauchy's (*Compt. rend.* T. VIII, p. 327) ist einzuwenden, dass auch das Verhältnis der relativen Geschwindigkeit sich bei der Bewegung ändert. Arago hat seine Erklärung wiederholt in den *Compt. rend.* T. VIII, p. 326.

3) Cauchy, *Dispersion de la lumière*.

des Spectrums verschiedene Intensitäten zugeschrieben hat, namentlich den gelben und blauen Strahlen die größte. Wenn dem wirklich so wäre, so könnte man sagen, es würde, bei Stellvertretung einer Farbe durch die andere, in dem veränderten Spectrum das intensive Gelb in intensives Orange, das schwache Grün in schwaches Gelb u. s. w. übergehen, und folglich das Spectrum eine ganz andere Tinte annehmen. Allein, wenn man auch außer Acht lassen will, dass es beinahe die complementaren Farben sind, welche eine gleiche Intensität zu haben scheinen, so muss es doch als ein kräftiges Argument gegen jenen Einwurf angesehen werden, dass die erwähnten Farbenintensitäten höchst wahrscheinlich subjectiv, von dem Auge selbst abhängig sind. Ich will hier nur an das erinnern, was Melloni in diesen Annalen gesagt hat <sup>1)</sup>). Ist dieses richtig, so ist auch sogleich jener Einwurf beseitigt, denn dann werden schwache grüne Strahlen zu intensiven gelben, und intensiv gelbe zu schwach orangefarbenen.

#### §. 15.

Ich kann nicht umhin hier noch mit wenigen Worten der zweiten schönen Abhandlung des Hrn. Professor Doppler zu gedenken <sup>2)</sup>). Gegen diese mag wohl nichts einzuwenden seyn, da schwerlich Jemand die oben erwähnte Annahme Fresnel's billigen wird. Außer dass Hr. Prof. Doppler viele astronomische Beobachtungen angegeben hat, durch welche die Theorie geprüft werden kann, hat er auch einige interessante Folgerungen gezogen, und gezeigt, dass sie auch für spätere Entdeckungen fruchtbar seyn kann, sobald sie nur einmal erst ganz bestätigt ist.

1) Melloni, *Compt. rend.*, XIV, p. 328, und diese Ann. Bd. 56, S. 574.

2) Christian Doppler: Ueber eine bei jeder Rotation des Fortpflanzungsmittels eintretende eigenthümliche Ablenkung der Licht- und Schallstrahlen. Prag, 1844.

Hierauf kommt es nun aber eben an, und es wundert mich darum, daß gerade diejenige astronomische Beobachtung, welche am leichtesten diesen Beweis liefern kann, nicht ausdrücklich angeführt ist. Ich meine die Bedekung der Jupiterstrabanten nicht durch den Kernschatthen des Planeten, sondern durch den Planeten selbst, welche letztere Beobachtung, wenn sie auch eben so schwierig als die erste seyn möchte, doch den Vorzug hat, daß sie einen doppelt so großen Unterschied giebt. In der Annahme nämlich, daß die Bahn des Trabanten genau in der Ebene des Jupiter-Aequators läge, würde der Satellit erst hinter seinem Hauptplaneten verschwinden, wann er bereits 26,86 Raumsecunden hinter demselben fortgerückt ist, und würde schon wieder sichtbar werden, wenn er noch eben so viele Secunden fortrücken müßte, um, im Fall die rotatorische Ablenkung nicht vorhanden wäre, sichtbar zu seyn. Zu solchen Beobachtungen hat man oftmais Gelegenheit und ist unabhängig von einer genauen Zeitbestimmung. Ich glaube, es würde auf diese Weise leichter seyn die rotatorische Ablenkung darzuthun, als durch das sogleich erwähnte Instrument, welches zu viele praktische Schwierigkeiten hat, um in Anwendung kommen zu können, selbst wenn man einen Künstler hätte, wie Hr. Arago in Hrn. Bruguet gefunden hat. Es würde immer noch leichter seyn, die von Arago zur Entscheidung über die Emissions- und Undulationstheorie ersonnenen, sich 2000 Mal in einer Secunde umdrehenden Spiegel darzustellen <sup>1)</sup>), als einen Glascylinder anzufertigen, welcher, bei einem Meter Durchmesser, 1000 Mal, oder bei  $\frac{1}{2}$  Meter Durchmesser, 2000 Mal in der Secunde um eine horizontale Axe rotirte, dabei eine genau cylindrische Oberfläche darböte, aus homogenen Glase bestände, und höchst genau centriert wäre, um dem Lichtstrahl, der ihn in einer auf der Axe senkrechten Ebene durchlief, eine rotatorische Ablenkung von  $\frac{5}{6}$  Secunden

1) Arago, *Compt. rend.*, T. VII, p. 954. Dies. Ann. Bd. 46, S. 28.

einzuprägen, eine Grösse, welche immer noch nicht leicht zu messen seyn würde. Ich gebe auch darum nur die Idee, nicht die Details.

Utrecht, den 5. August 1845.

**II. Von der Geschwindigkeit des Schalls zwischen zwei Standpunkten von gleicher oder ungleicher Höhe über dem Meere;**  
**von den HH. A. Bravais und Ch. Martins.**

(*Ann. de chim. et de phys., Ser. III, T. XIII, p. 5.*)

**I. Schallgeschwindigkeit zwischen zwei Standpunkten von gleicher Höhe über dem Meere.**

Die ersten Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft zwischen zwei Standpunkten, deren Höhenunterschied Null oder unbedeutend ist, stammen von Mersenne und Gassendi her; sie wurden von vielen Physikern wiederholt, unter andern von denen der *Accademia del Cimento*, von Rob. Boyle, Bianconi, Flamsteed und Halley. Allein der Widerspruch zwischen den von ihnen erhaltenen Zahlen beweist genugsam, dass die experimentellen Methoden damals noch nicht weit genug waren, um genaue Resultate zu erlangen; auch hat es die Pariser Academie der Wissenschaften für ihre Pflicht gehalten, Versuche zu unternehmen, um die Gesetze dieser Fortpflanzung scharf zu bestimmen. Es wurde eine Commission ernannt, bestehend aus Lacaille, Maraldi und Cassini de Thury, denen mehrere Gehülfen hinzutraten<sup>1</sup>). Die Sternwarte, die Pyramide von Montmartre, die Mühle von *Fontenay-aux-Roses* und das Schloss *Lay* waren die von den Acad-

1) *Sur la propagation du son, par Mr. Cassini de Thury*  
*(Mém. de l'acad., année 1738, p. 128.).*

mikern erwählten Standpunkte. Bei dem letzten Versuche nahmen sie den Thurm von Dammartin hinzu. Man schoß folgweise eine Kanone beim Observatorium, bei Montmartre und Montlhéry ab. Die Beobachter hatten sich vorgesetzt, den Einfluss des Windes zu ermitteln; sie ließen daher an zwei Standpunkten *wechselseitige* Schüsse thun <sup>1)</sup> und nahmen als Maaf der Schallgeschwindigkeit in ruhiger Luft die halbe Summe der an jeder Station zwischen Blitz und Knall beobachteten Zeit. Allein Hr. Arago macht mit Recht die Bemerkung <sup>2)</sup>), daß unter allen diesen Schüssen nur die vom 14. und 16. März 1738 zwischen Montlhéry und Montmartre wechselseitig genannt werden können, wenn man überhaupt Schüsse wechselseitige nennen kann, die in Zwischenzeiten von 35 Minuten gethan sind. Was die betrifft, welche um 9<sup>h</sup> 25' und 9<sup>h</sup> 30' Abends am 14., 16. und 20. März beim Observatorio und auf dem Montmartre gelöst wurden, so geben sie nur ein unrichtiges Resultat, und können es nur geben, weil beide Standpunkte nur 5713 Meter auseinander liegen. Zur Messung der zwischen dem Blitz und dem Knall der Kanone verstrichenen Zeit, hörten die Beobachter auf das Schlagen eines Secunden-Pendels, und begnügten sich, die halben Secunden zu schätzen. Sie zeichneten auch den Stand des Baro- und Thermometers auf; letzteres hielt sich während der ganzen Dauer der Versuche zwischen 5° und 7°,5 C. <sup>3)</sup>). Allein sie hatten keine Mittel, die Menge des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfs zu schätzen. Jedenfalls hat die Commission nachgewiesen, daß die Schallgeschwindigkeit gleichförmig ist, daß sie ferner gleich ist bei schönem Wetter und bei Regen, bei Tage und bei Nacht, Welch eine Richtung die Kanone auch haben möge.

Sie

1) *Histoire de l'acad. des sciences, année 1738*, p. 2.

2) *Connaissance des temps pour 1825*, p. 370.

3) *Mémoires de l'acad. des scienc.*, année 1738, p. 141.

Sie hat den Einflus der Richtung und Stärke des Windes hinsichtlich der Beschleunigung oder Verzögerung der Geschwindigkeit und der Verstärkung oder Schwächung der Intensität außer allen Zweifel gesetzt. Aus der Gesamtheit ihrer Versuche ergiebt sich die Schallgeschwindigkeit in der Luft bei  $0^{\circ}$  im Mittel zu 332,9 Meter in der Secunde.

Im folgenden Jahre machten Lacaille und Cassini einige Versuche zwischen *Aigues-Mortes* und *Cette*, um den Einflus der Nähe des Meeres und eines andern Clima zu ermitteln <sup>1)</sup>. Der Abstand zwischen beiden Stationen betrug 43574 Meter, allein die Schüsse waren nicht wechselseitig. Derselbe Vorwurf trifft die Versuche, welche La Condamine i. J. 1740 zu *Quito* <sup>2)</sup> und i. J. 1744 zu *Cayenne* <sup>3)</sup> machte. Für den in einer Zeitsecunde vom Schall durchlaufenen Raum fand er das erste Mal 339 Meter, das zweite Mal 357. Diese große Schallgeschwindigkeit in einer Luft, deren Temperatur hoch war, mußte die Physiker auf die Nothwendigkeit aufmerksam machen, die Temperatur der Luft, in welcher sich der Schall fortpflanzt, zu berücksichtigen.

Im J. 1778 wandte Kästner in Göttingen zuerst eine Terzienuhr mit Sperrung an, um die Zeit zwischen Blitz und Knall zu beobachten <sup>4)</sup>; allein Benzenberg, der diese Uhr prüfte, lehrt uns, daß ihr Gang sehr unregelmäßig war und der Mechanismus des Sperrens auf sie Einflus hatte <sup>5)</sup>. Ueberdies war, da die Kanonenschüsse nicht wechselseitig geschahen, der Einflus des

1) *Sur les opérations géométriques faites en France dans les années 1737 et 1738* (Mém. de l'acad., année 1739, p. 119.).

2) *Journal du voyage fait par ordre du roi à l'équateur, T. I.*, p. 98.

3) *Relation abrégée d'un voyage fait dans l'intérieur de l'Amérique* (Mém. de l'acad., année 1745, p. 488.).

4) Göttingische Anzeigen von gelhrten Sachen, Jahrg. 1778, S. 1145.

5) Gilbert's Annal. der Physik, Bd. 35, S. 385.

Windes nicht beseitigt. Aus beiden Gründen müssen diese Versuche weniger Zutrauen einflößen, als die der französischen Akademiker. Die von Müller i. J. 1791 gleichfalls zu Göttingen angestellten Versuche sind mit derselben Fehlerquelle behaftet <sup>1</sup>). Die i. J. 1794 von Espinosa und Bauza zu *St. Jago de Chili* gemachten, hatten den Zweck, den Einfluss der Temperatur zu ermitteln, die von 21 bis 25° C. ging <sup>2</sup>). Allein die Mittel aus vier Beobachtungsreihen stimmen wenig mit einander überein und können also den Physikern kein großes Vertrauen einflößen.

Am 5. Nov. 1809 schätzte Benzenberg bei funfzehn Kanonenschüssen zu Düsseldorf die Zeit zwischen Blitz und Knall in einem Abstande von 4627 Metern. Am 2. und 3. December begab er sich auf den Thurm von Ratingen, der 9072 Meter von Düsseldorf entfernt st. Er bediente sich einer mit Sperrung versehenen Terzienuhr von Pfaffius, welche den Tag in zehn Millionen Theile theilte und hinsichtlich ihres Ganges sorgfältig studirt worden war. Die Zahl der beobachteten Kanonenschüsse stieg auf 60 <sup>3</sup>).

Diese Versuche würden untadelhaft seyn, wenn die Schüsse wechselseitig gewesen wären. Sie wurden bei niederen Temperaturen gemacht und Gilbert spricht in einer Anmerkung zu Benzenberg's Abhandlung die Nothwendigkeit aus, Temperatur und Druck zu berücksichtigen, und mittelst der Newton'schen Formel in Rechnung zu nehmen, da sie die Undulationsgeschwindigkeit in einem elastischen Mittel in Function der Schwerkraft, des Drucks und der Dichtigkeit des Fluidums giebt <sup>4</sup>). Diese Bemerkung von Gilbert veranlaßte Benzenberg seine

1) Götting. Anzeig. u. w., Jahrg. 1791, S. 1593.

2) *Ann. de chim. et de phys.*, Ser. II, T. VII, p. 93.

3) Gilbert's Annalen, Bd. 35, S. 383.

4) Ebendaselbst.

**Versuche im Juni 1811 zu wiederholen** <sup>1)</sup>. Bei drei auf einander folgenden Reihen war die Temperatur der Luft  $12^{\circ}, 0$ ,  $28^{\circ}, 0$  und  $28^{\circ}, 4$  C. Die Gesammt-Anzahl der Schüsse stieg auf vierzig. Durch Vergleich der bei verschiedenen Temperaturen angestellten Versuche konnte Benzenberg eine empirische Tafel entwerfen, welche die Schallgeschwindigkeit in einer Sexagesimalsecunde für alle Temperaturen zwischen  $0^{\circ}$  und  $30^{\circ}$  C. angab. Die Zahl, welche er aus der Gesamtheit seiner Beobachtungen für den in Luft von  $0^{\circ}$  in einer Secunde durchlau-  
fenen Raum ableitet, ist  $333^{\text{m}}, 7$ .

Vom Juli 1820 bis November 1821 beobachtete Goldingham, Astronom zu Madras, mehr als achthundert Kanonenschüsse, die auf dem Fort St. George und bei der Artilleriekaserne auf dem St. Thomasberg abgefeuert wurden <sup>2)</sup>. Wählt man 91 bei vollkommen ruhiger Luft zwischen Blitz und Knall beobachtete Zeiten aus, so findet man  $331^{\text{m}}, 0$  für die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft, deren Temperatur nach der Newton'schen Formel auf  $0^{\circ}$  zurückgeführt worden.

Dieser kurze geschichtliche Abriss genügt zu zeigen, dass die experimentellen Methoden, welche man, um zu einer strengen Bestimmung der Schallgeschwindigkeit zu gelangen, angewandt hat, seit den berühmten Versuchen von 1738 keine erhebliche Fortschritte gemacht hatten. Die Beobachter erfüllten nicht die Bedingung der Wechsel-  
seitigkeit der Schüsse, obwohl die französischen Akademiker die ganze Wichtigkeit derselben hervorgehoben hatten. Nur die Mittel zur Zeitmessung waren vervollkommen worden. Ueberdies hatten Gilbert und Benzenberg zuerst das Element der Temperatur bei der Reduction der Beobachtungen eingeführt, obwohl schon Bianconi

1) Gilbert's Annalen, Bd. 42, S. 1.

2) Poggendorff's Ann. d. Physik, Bd. 5, S. 476.

i. J. 1740 erwiesen hatte <sup>1)</sup>), daß die Schallgeschwindigkeit in einer Luft von  $35^{\circ}$  weit grösser ist als in einer von  $-1^{\circ}.5$ .

Um diesen Unsicherheiten ein Ende zu machen, ernannte das *Bureau des Longitudes* i. J. 1822 eine Commission zum Behufe der Anstellung von Versuchen über die Schallgeschwindigkeit und somit einer Prüfung der neuen theoretischen Bestimmung, welche La Place, aus den Versuchen des Hrn. Gay-Lussac abgeleitet, über die specifische Wärme der Luft gemacht hatte. Diese Commission bestand aus den HH. Prony, Bouvard, Mathieu und Arago, denen die HH. Gay-Lussac und v. Humboldt hinzutraten <sup>2)</sup>. Die von den Beobachtern gewählten Stationen waren Villejuif und Montlhéry, deren Entfernung, durch Hrn. Arago trigonometrisch bestimmt, 18613 Meter beträgt. An jeder derselben hatten sie einen Sechspfünder, von Artilleristen bedient. Fünf Chronometer mit Sperrung, von Hrn. Breguet, dienten zur Messung der Zeit. Hr. de Prony hatte einen Chronometer ohne Sperrung, der 150 Schläge in der Minute machte. Am 21. Juni 1822 wurden die zu Montlhéry gethanenen Schüsse vollkommen zu Villejuif gehört, während die von Villejuif dermaßen geschwächt in Montlhéry anlangten, daß sie unter den drei Beobachtern nur von zwei und zuweilen nur von einem einzigen vernommen wurden. Sieben correspondirende, in Zwischenzeiten von fünf Minuten abgefeuerte Schüsse wurden indefs an jedem der beiden Standpunkte gehört. Die grösste Abweichung in der Schätzung der Zeit zwischen Blitz und Knall eines Schusses betrug für

1) *Della diversa velocita del suono in Venezia*, 1746, und *Commentarii Bononienses*, T. II, Pars I, p. 365.

2) *Résultats des expériences faites par ordre du bureau des longitudes pour la détermination de la vitesse du son dans l'atmosphère*, par Mr. Arago (*Connaissance des Temps*, 1825, p. 361.).

beide Stationen 0,4 Secunden. Am andern Tage, 22. Juni, wurde von 12 zu Villejuif abgefeuerten Schüssen nur ein einziger zu Montlhéry gehört, von den HH. Bouvard und Gay-Lussac, so dass diese Versuche denen des vorherigen Tages nichts hinzufügten. Während der ganzen Dauer der Versuche beobachtete man von 5 zu 5 Minuten das Baro-, Thermo- und Hygrometer. Die sieben wechselseitigen, in Zwischenräumen von 5 Minuten abgefeuerten Schüsse geben für die Schallgeschwindigkeit in *trockner* Luft bei  $0^{\circ}$ , wenn man 0,0366 als Ausdehnungscoefficient der Luft und die von La Place<sup>1)</sup> für die Feuchtigkeit der Luft nachgewiesene Berichtigung  $0^{\text{m}},57$  annimmt, die Zahl  $330^{\text{m}},8$ .

Der berühmte Berichterstatter der Commission besteht dringend auf die Nothwendigkeit, die Kanonenschüsse wechselseitig abzufeuern, um den Einfluss des Windes zu eliminiren. Er zeigt, dass das Ideal dieser Art von Versuchen ein gleichzeitiges Abfeuern der Kanonen an beiden Stationen verlangte, und beweist, dass selbst in diesem Fall die halbe Summe der Zwischenzeiten nicht immer nothwendig das Maafs der Fortpflanzung des Schalls in ruhiger Luft seyn würde.

Ohne Zweifel waren es diese Gründe, welche die HH. Moll und v. Beek bewogen, diese Versuche zu wiederholen, und dabei alle Vorsichtsmaafsregeln zu treffen, dass die wechselseitigen Schüsse in so kurzen Zwischenzeiten wie möglich abgefeuert wurden<sup>2)</sup>. Prinz Friedrich von Holland hatte den beiden Gelehrten vier Kanonen, 6- und 12-Pfunder, zur Verfügung gestellt. Mehre Officiere und Studenten der Universität Utrecht wirkten als Gehülfen mit zu diesen Versuchen. Die Zeit

1) *Sur la vitesse du son, par M. de la Place (Connaissance des Temps, 1825, p. 372.).*

2) Versuche über die Geschwindigkeit des Schalls, gemacht in Holland (Poggendorff's Annal. der Physik, Bd. 5, S. 351 und 469. — Philosoph. Transact., 1824, p. 424.).

wurde durch zwei Chronometer von wohlbekanntem Gange gemessen. Die Zeiten zwischen Blitz und Knall mafs man durch zwei Pfaffius'sche Terzienuhren mit Spernung, deren Zeiger geradezu Hundertel einer Decimalsecunde angaben <sup>1)</sup>). Bei diesen Uhren hat das Pendel eine doppelte Aufhängung und beschreibt einen Kegel, dessen Scheitel der Aufhängepunkt ist. Im Moment, da man den Blitz gewahrt, setzt man durch einen Druck auf eine Feder den Zeiger in Gang; im Augenblick, da man den Knall vernimmt, zieht man den Daum zurück und der Zeiger steht. Ueberdies waren die Beobachter mit Barometern, Thermometern und Daniell'schen Hygrometern versehen. Eine Windfahne zeigte die Richtung des Windes an. Als Standpunkte wählten sie in der Haide von Utrecht zwei Hügel, *Zevenboompjes*, welchen wir mit *A* bezeichnen wollen, und *Kooltjesberg*, welchen wir *B* nennen. Die Entfernung beider Stationen ist  $17669^m,3$ . Sie wurde aus vier verschiedenen Dreiecken berechnet, die sich auf ein Dreieck der Krayenhoff'schen Vermessung stützte <sup>2)</sup>). Der größte Unterschied zwischen diesen vier Bestimmungen stieg auf  $2^m,45$ .

Die Versuche wurden auf folgende Weise angestellt. Am 23. Juni 1823, Abends, liefs man von der Station *A* eine Rakete aufsteigen. Dies war das Signal, daß auf dieser Station alles bereit war. Als Antwort stieg vom Punkte *B* eine Rakete auf; sie benachrichtigte die Beobachter an der ersten Station, daß die der zweiten auf ihren Posten waren. Um  $8^h\ 0' 0''$  des Chronometers der Station *A* that man den ersten Kanonenschuß, und um  $8^h\ 5'$  einen zweiten; einen dritten Schuß that man an beiden Stationen gleichzeitig um  $8^h\ 10' 0''$ . Diese drei Schüsse beabsichtigten die Chronometer in Beziehung zu

1) Ueber ein Centrifugal-Pendel (Gilbert's Annal. d. Physik, 1804, Bd. 16, S. 494.).

2) *Précis des opérations géodésiques et trigonométriques en Hollande; par Mr. le Général Krayenhoff.*

setzen. Um genau in einem Augenblick abzufeuern verfuhr man folgendergestalt: Ein Officier hielt die brennende Lunte über dem Zündloch; ein anderer hielt den Chronometer vor Augen und fasste den ersten am Arm. Genau im Moment, da der Zeiger die verabredete Secunde erreichte, drückte er den Arm, der die Lunte hielt, nieder und die Kanone ging los. Wenn die Chronometer verglichen waren, begannen die Versuche. Man that auf der Station *A* einen Schufs, und eine oder höchstens zwei Secunden hernach antwortete man auf der Station *B* mit einem Schufs. Am 23., 24. und 25. Juni wurden indeß die Schüsse der Station *A* nicht an der Station *B* gehört, obwohl man sich am 24. und 25. eines 12-Pfünders, geladen mit 3 Kilogramm. Pulver, bediente. Am 25. verhielt es sich umgekehrt. Die Beobachter der Station *A* hörten nicht die Schüsse der Station *B*. Allein am 27. hatte man 22 wechselseitige Schüsse und am 28. deren 14. Das Mittel der bei diesen 36 wechselseitigen Schüssen zwischen Blitz und Knall beobachteten Zeit giebt für die Geschwindigkeit des Schalls in trockner Luft bei  $0^{\circ}$ , berechnet nach dem neuen Ausdehnungs-coëfficienten,  $332^{\text{m}},25$ . Der Unterschied der Resultate beider Reihen, vom 27. und 28. Juni, beträgt  $0^{\text{m}},66$ . Berechnet man dagegen aus den 36 nicht wechselseitigen Schüssen des 25. und 26. Juni die Schallgeschwindigkeit, so findet man, daß die Mittel der an beiden Abenden gemachten Bestimmungen um  $6^{\text{m}},35$  von einander abweichen. Diese Zahlen machen genugsam einleuchtend, wie äußerst wichtig die Wechselseitigkeit der Schüsse ist.

Die eben angeführten Versuche scheinen uns alle Genauigkeitsbedingungen, welche man an diese Art von Versuchen zu machen berechtigt ist, zu erfüllen, denn: 1) die Standlinie, genau gemessen, betrug über 17 Kilometer; 2) die wechselseitigen Schüsse wurden in Zwischenzeiten von einer bis zwei Secunden, und in hinreichender Anzahl abgefeuert, um einen genauen Mittelwerth zu geben; 3) alle

erforderlichen meteorologischen Instrumente wurden während der ganzen Dauer der Versuche beobachtet; 4) die Zähler waren sorgfältig verglichen mit Chronometern, die nach astronomischen Beobachtungen regulirt worden; indes sind die Zähler selbst nicht gegen allen Einwurf gesichert. Der Zeiger setzt sich, wie gesagt, in Gang, sobald man an eine Feder drückt. Ehe er in Bewegung kommt, geht nothwendig Zeit verloren; und dieser Zeitverlust kann nicht derselbe seyn wie beim Anhalten des Zeigers. Es findet also keine Compensation statt, wie bei den Uhren mit gewöhnlichen Sperrungen. Die punktirenden Zähler der HH. Breguet sind gegen diesen Uebelstand vollkommen sicher gestellt; denn der Hebel, welcher den Punkt macht, ist von dem Uhrwerk ganz unabhängig und folglich ohne Einflufs auf den Gang des Secundenzeigers. Noch mehr: da man den Augenblick eines Phänomens dadurch anmerkt, daß man einen Knopf mit dem Daumen niederdrückt, so haben die Verzögerungen gegen diesen Augenblick immer einen fast gleichen Werth und compensiren sich daher. Bei den von den holländischen Beobachtern angewandten Uhren erfordern das Anhalten und Loslassen verschiedene Muskelbewegung, und da fragt es sich dann, ob diese beiden Bewegungen gleiche Dauer haben.

Nach den denkwürdigen Versuchen der französischen und holländischen Physiker finden wir die, welche Gregory i. J. 1824 zu Woolwich machte, um den Einfluß des Windes zu ermitteln<sup>1)</sup>. Sie konnten nicht zu genauen Resultaten führen, weil weder die Schüsse wechselseitig geschahen, noch die Entfernung groß genug war.

Obwohl diese beiden Vorwürfe auch die Versuche treffen, welche die englischen Seefahrer auf ihrer Ueberwinterung in Nordamerika anstellten, so können wir sie

1) *An Account of some experiments made in ordre to determine the velocity with which the sound is transmitted in the atmosphere (Philosoph. Magazine, 1824, T. LXIII, p. 401.)*

doch nicht mit Stillschweigen übergehen, denn sie zeigen, dass die Schallgeschwindigkeit abnimmt, so wie das Thermometer sinkt. Auf der Reise von Franklin ließ Lieutenant Kendall am 31. Octbr., 3., 5., 14. Novbr. und 23. Decbr. 1825 vierzig Schüsse am Ufer des großen Bärensee abfeuern <sup>1)</sup>). Die Temperaturen lagen zwischen  $-2^{\circ},5$  und  $-40^{\circ},0$  C., und die Abstände gingen von 464 bis 1856 Meter. Er suchte den Einfluss der Winde zu bestimmen, indem er denselben durch direkte Versuche schätzte. Kendall fand die Schallgeschwindigkeit in einer Secunde bei  $-2^{\circ},5$  C. =  $331^{\text{m}},2$  und bei  $-40^{\circ}$  =  $313^{\text{m}},9$ .

Während seiner Ueberwinterung zu *Ingloolik* und *Winter-Island* machte Parry, mit seinen Lieutenants HH. Nyas und Fischer, achtzehn Versuche über die Schallgeschwindigkeit <sup>2)</sup>). Sieben davon wurden bei Abständen von 878 bis 1629 Meter gemacht, die übrigen elf bei dem Abstande von 2580 Meter. Die Schüsse waren nicht wechselseitig. Sie fanden, dass bei  $-0^{\circ},7$  C. der Schall  $326^{\text{m}},1$  in der Secunde durchläuft, dagegen bei  $-40^{\circ},7$  C. nur  $300^{\text{m}},5$ . Diese Resultate stimmen bei weitem nicht mit denen von Kendall. Auf seiner dritten Reise wiederholte Parry diese Versuche zu Port Bowen mit seinem Lieutenant Hrn. Foster <sup>3)</sup>). Die Kanone befand sich am Lande, und die Beobachter auf der 3930 Meter vom Ufer vor Anker liegenden Corvette. Sie schätzten die Zeit zwischen Blitz und Kuall mittelst Ta-

1) *Observations in the velocity of sound at different temperatures (Narrative of a second expedition to the shores of the polar sea, by John Franklin. Appendix IV.).*

2) *Appendix to captain Parry's Journal of a second voyage for the discovery of the North-west-passage in the years 1821—1823.*

3) *Experiments to determine the rate at which sound travels at various temperatures and pressures of the atmosphere (Journ. of the third voyage for the discovery of a North-west-passage in the years 1824—1825. Appendix, p. 86.).*

schenchropometer, auf deren Schläge sie hörten. Bei ruhiger Luft und einer Temperatur von  $-38^{\circ},5$  C. fanden sie eine Geschwindigkeit von  $309^{\text{m}},2$  in der Secunde.

**II. Schallgeschwindigkeit zwischen zwei Standpunkten von ungleicher Höhe über dem Meere.**

Bei allen so eben angeführten Versuchen war der Höhenunterschied der beiden Stationen entweder Null oder unbedeutend. Die Theorie zeigt an, dass die Fortpflanzung des Schalls in lothrechter oder in mehr oder weniger schiefer Richtung mit derselben Geschwindigkeit geschehen müsse wie in horizontaler. Es lässt sich auch voraussehen, dass der emporsteigende Ton sich mit gleicher Schnelligkeit bewegen muss wie der herabkommende. Indes da es immer gut ist, die Angaben einer Theorie durch Erfahrung zu prüfen, so beschlossen zwei österreichische Gelehrte, die HH. Stampfer und v. Myrbach, dazu die Signalfeuer zu benutzen, durch welche man im Sommer 1822 den Längenunterschied mehrer Berge in Tyrol bestimmte <sup>1)</sup>.

Es wurden zwei Kanonen aufgepflanzt, die eine am Mönchstein, bei Salzburg, die andere am Untersberg. Der Höhenunterschied beider Standpunkte beträgt 1364 Meter, die schiefe Entfernung derselben 9940 Meter. Mithin machte die vom Schall durchlaufene Linie einen Winkel von  $7^{\circ} 53'$  mit dem Horizont. Hr. Stampfer befand sich an der oberen Station und beobachtete mit Hülfe eines Secundenpendels und eines Chronometers, der 4,7 Schläge in der Secunde machte. Hr. v. Myrbach war am Mönchstein stationirt und beobachtete ein Secundenpendel. Am 30. Sept. 1822 wurden unten 13 und oben 20 Schüsse gethan. Bei diesen Versuchen wichen die Geschwindigkeit des aufsteigenden Tons von der des absteigenden im Mittel nur um  $0^{\text{m}},22$  ab, und die halbe

1) Poggendorff's Annal. d. Physik, Bd. 5, S. 496, und Jahrbücher des Wiener polytechnischen Instituts, Bd. 7, S. 23.

Summe beider Geschwindigkeiten in Luft von  $0^{\circ}$  betrug pro Secunde 332<sup>m</sup>.96, wenn man sie mit den neuen Ausdehnungscoëfficienten der Luft berechnet. Die östreichischen Gelehrten haben nicht das Hygrometer beobachtet; wenn man aber eine mittlere Feuchtigkeit von 75 pCt. bei der Temperatur  $3^{\circ}.4$  voraussetzt, so nähert sich die erhaltene Zahl noch mehr der der holländischen Beobachter.

Begierig diese Versuche bei einem noch bedeutenderem Höhenunterschied zu wiederholen, verschafften wir uns zwei solche gusseiserne Kanonen von kurzem Laufe, wie man gewöhnlich *Böller* (*boîtes*) nennt. Das Gewicht einer jeden betrug 25 Kilogramm. und ihr innerer Durchmesser 44 Millimeter. Sie hatten ein Zündloch zur Seite. Eine dieser Kanonen wurde auf das Faulhorn gebracht, die andere im Dorfe Tracht, bei Brienz, am Ufer des gleichnamigen Sees, gelassen. Die schiefe Entfernung beider Stationen betrug im Mittel 9650<sup>m</sup>.7, ihr Höhenunterschied 2079 Meter, und die Neigung der vom Schall durchlaufenen Linie  $12^{\circ} 26'$ .

Zum Messen der Zeit zwischen dem Erscheinen des Lichts und der Wahrnehmung des Tons besaßen wir zwei punktirende Zähler (No. 521 und 528), welche Hr. Breguet die Güte hatte uns zur Verfügung zu stellen. Bei diesen Instrumenten verpflanzt sich bekanntlich der mit dem Daumen auf einen äufseren Knopf ausgetübte Druck durch einen sinnreichen Mechanismus auf einen beweglichen Hebel, welcher, indem er auf das Zifferblatt niedergeht, daselbst einen schwarzen Punkt hinterlässt, und dadurch die Zeitsecunde und deren Bruch bezeichnet. Ueberdies hatten wir eine Sperr-Uhr von Jacob (No. 180), die 320 Schläge in der Minute machte. Der Mechanismus dieser Uhren ist von ihrem Erfinder im *Bulletin de la Société d'Encouragement* (Abul 1830) beschrieben. Unser letztes Instrument endlich war ein sehr guter Chronometer (No. 63) von Winnerl, dessen täg-

licher Gang + 3",0 war, und welcher halbe Secunden schlug.

Bei jedem der auf der oberen Station gemachten Versuche wurden die Uhren vor- und nachher mit dem Chronometer No. 63 verglichen. An der unteren Station konnte dieser Vergleich nicht jeden Abend gemacht werden, allein der zu dieser Station gehörende Zähler No. 528 wurde am 20. Oct. Abends mit dem Chronometer in Beziehung gesetzt, unter Temperatur-Umständen, die mit denen der vorherigen Abendbeobachtungen sehr nahe identisch waren.

Die ersten Versuche fanden am 21. Sept. Abends statt; es war für uns der Probe-Abend, dessen Resultate wir hier fortlassen. Die Kanone auf dem Faulhorn wurde mit 70 Grm. Pulver geladen, die bei Tracht mit 75 Grm. Alle Schüsse wurden deutlich gehört; allein der Knall der Kanone auf dem Berge langte in Tracht sehr geschwächt an; in Folge defs wurde die Pulverladung auf der Faulhorn-Station vergrößert und bis 90 Grm. gebracht. Von da an war die Wahrnehmung des Knalls genügend; der Knall war stets scharf und von keinem Rollen begleitet.

Die folgenden Tafeln geben die Resultate der Beobachtungen vom 24., 25. und 27. September Abends; die Dauer der Fortpflanzung, wie sie sich in die zweite, dritte und vierte Spalte eingeschrieben findet, ist zuvor berichtet worden wegen des täglichen Ganges der Uhr, deren jeder der Beobachter sich bediente.

An den Abenden des 24. und 25. bediente sich Hr. A. Bravais der Uhr No. 180 auf der oberen Station; allein da die Sperrung dieser Uhr am Morgen des 27. plötzlich in Unordnung gerieth, so wandte derselbe späterhin den Chronometer No. 63 an; er hörte die Schläge, zählte sie selbst und schätzte die Unterschiede. Hr. Martins beobachtete stets mit dem Zähler No. 521. Ein dritter Beobachter endlich, Hr. Camille Bravais, Bruder

des einen von uns, an der unteren Station aufgestellt, hatte den Zähler No. 528 in Händen.

Zuweilen erblickte man, Schlag auf Schlag, zwei gesonderte Feuer, das der Mündung und das des Zündlochs, welches letztere nothwendig dem ersteren voranging. In diesem Fall war es unmöglich den Daumen zur rechten Zeit von der Sperrfeder abzuziehen, und der auf dem Zifferblatte abgelesene Zeitpunkt entsprach immer dem Erscheinen des Lichts vom Zündloch <sup>1)</sup>). In diesem Falle fand man eine zu grosse Zwischenzeit; wir haben dies in unseren Registern angegeben und diese Fehlerquelle kann also eliminiert werden. Die Fälle des Doppellichts sind in der Tafel durch ein Doppelsternchen bezeichnet.

Zu Anfang und Ende jeder Reihe wurden Temperatur, Luftdruck und Dampfspannung gemessen. Die angegebenen Barometerstände sind wegen des constanten Fehlers der Instrumente berichtigt und stellen also absolute Werthe des Druckes vor. Alle Beobachtungen der unteren Station sind überdies reducirt auf das Niveau des Brienzer Sees (563<sup>m</sup>,9), alle der oberen Station auf das Niveau der Horizontalebene, die den Gipfel des Berges berührt (2683 Met.).

Die Dampfspannung wurde an beiden Stationen mittelst des Psychrometers gemessen und nach der Formel

$$E = e' - 0,00085(t - t')B$$

berechnet <sup>2)</sup>); endlich bediente man sich der neuerlich von Hrn. Regnault veröffentlichten Tafel der Dampfspannung.

Die Temperatur der Luft wurde genommen, indem man die Thermometer in der Luft herumschwenkte; die Lage ihrer Nullpunkte war am 24. Juli und 2. Sept. geprüft worden. Unten enthält die Tafel die Mittelwerthe

- 1) Eben so verhielt es sich, im Fall der Beobachter auf die Schläge des Chronometers hörte.
- 2) Siehe die französische Uebersetzung von Kämtz's Meteorologie, S. 78.

der Beobachtungen eines jeden Abend. Bei der Berechnung der mittleren Dauer der Fortpflanzungszeit sind die mit dem Erscheinen eines Doppellichts behafteten Beobachtungen ausgeschlossen; glücklicherweise sind diese Fälle selten. Ueberdies wird man bemerken, daß die sechs Zahlen, welche mit einem Doppelsternchen bezeichnet sind, alle das entsprechende Mittel unter der Tafel übersteigen. Der Mittelwerth dieses Ueberschusses ist 0",24.

Endlich haben wir angegeben: den Zustand des Himmels, die Stärke des Windes, gemessen mittelst des Anemometers von Hrn. Combes, und die Richtung desselben, geschätzt nach dem Azimuth wohlbekannter irdischer Gegenstände in der Umgebung. Die obere Station lag N. 19° O. von der untern.

[In den drei letzten Spalten sind die Beobachtungen der unteren Station mit *U*, und die der oberen mit *O* bezeichnet.]

Zeit des Schusses.	Aufsteigender Schall.		Niedersteig. Schall. C Bravais.	Temper. d. Luft.	Barom. 6°,0	Dampf- spannung.
	A. Bravais.	Martins.				
7 <sup>h</sup> 29' 50"	28",65 **			{ U. + 14°,4	713,0	9,7
				{ O. + 1,2	552,75	4,6
7 38 35	28 ,35	28",41	28",9			
7 43 40	28 ,35	28 ,31				
7 53 25						
8 0 30			28 ,3			
8 4 50	28 ,60	28 ,71				
8 18 0	28 ,45 **	28 ,96 **				
8 24 45			28 ,85 **			
8 28 30	28 ,15	28 ,41				
8 34 35			28 ,7			
8 39 35	28 ,55	28 ,76		{ U. + 13 ,1	713,4	9,9
				{ O. + 0 ,9	552,95	4,3
Mittel	28",41	28",52	28",63	{ U. + 13,75	713,2	9,8
				{ O. + 1,0	552,85	4,45

*Himmel* heiter, aber schwach beschleiert; einige *Cirro-stratus*.

*Untere Station.* — Ruhig, um 7<sup>h</sup> 45' schwacher Nordwind, und zuletzt schwache Brise aus NNO.

*Obere Station.* — Süd, in SSW. übergehend, sehr schwach.

Zeit des Schusses.	Aufsteigender Schall.		Niedersteig. Schall. C. Bravais.	Temper. d. Luft.	Barom. 6°,0	Dampfspannung.
	A. Bravais.	Martins.				
7 <sup>h</sup> 18' 40"	28",58	28",51		{ U. + 12°,9 O. + 1,4	715,9 554,75	10,65 4,8
7 35 40			28",85			
7 43 0	28,68	28,56				
7 47 50			28,9	O. + 0,9		
7 52 40	28,78	28,64				
7 58 35			28,55			
8 3 45		28,39				
8 14 55	28,58	28,81				
8 20 15			28,45			
8 25 50	28,63	28,75		{ U. + 12°,75 O. + 0,7	716,2 554,9	10,6 4,8
Mittel	28",65	28",61	28",69	{ U. + 12°,82 O. + 0,95	716,05 554,82	10,62 4,8

Himmel halb bedeckt durch Cumuli aus SW. kommend, zu Anfange der Beobachtungen 4000 Meter hoch, gegen 8<sup>h</sup> 40' bis zum Gipfel des Faulhorn herabsinkend.

Untere Station. — Windstill.

Obere Station. — Um 7<sup>h</sup> 48' schwache Brise aus N.; um 8<sup>h</sup> 10' unausgesetzt bald SW., bald W.; die Geschwindigkeit in der Sekunde um 8<sup>h</sup> 10' = 0°,9, um 8<sup>h</sup> 18' = 1°,4, um 8<sup>h</sup> 22' = 4°,0 und um 8<sup>h</sup> 26' = 2°,6.

Zeit des Schusses.	Aufsteigender Schall.		Niedersteig. Schall. C. Bravais.	Temper. d. Luft.	Barom. 6°,0	Dampfspannung.
	A. Bravais.	Martins.				
7 <sup>h</sup> 19' 40"	28",35	28",53		{ U. + 15°,9 O. + 5,2	718,0 557,75	11,5 5,4
7 25 30			28",45	O. + 5,1		
7 30 40	28,60**	28,48**				
7 38 55			28,72			
7 44 50	28,15	28,43				
7 50 5			28,55			
7 56 30	28,40	28,38				
8 2 30			28,35			
8 8 25	28,65	28,68				
8 14 15			28,35			
8 20 5	27,90	27,98				
8 26 35			28,9			
8 32 30	28,15	28,48		{ U. + 16°,1 O. + 4,8	718,1 557,6	11,15 5,5
Mittel	28",27	28",41	28",55	{ U. + 16°,07 O. + 4,95	718,05 557,67	11,33 5,45

*Himmel* halb heiter, gekäpfelt; *Cirro-cumuli* aus SW.

*Untere Station.* — Anfangs sehr schwacher NO.; um 8<sup>h</sup> 14' und 8<sup>h</sup> 30' schwacher O.

*Obere Station.* — Anfangs schwacher NNO.; um 8<sup>h</sup> 30' schwacher N. mit einer Geschwindigkeit von 1<sup>m</sup>,9 in der Secunde.

Wir haben nun noch aus den obigen Zahlen die Schallgeschwindigkeit abzuleiten. Im vorliegenden Fall betrug der vom aufsteigenden Schall durchlaufene Weg 9624<sup>m</sup>,2 (siehe den Zusatz am Ende) bei einem Höhenunterschied von 2116<sup>m</sup>,4. Der vom niedersteigenden Schall zurückgelegte Weg betrug 9677<sup>m</sup>,3 bei einem Höhenunterschied von 2041<sup>m</sup>,5. Das Mittel aus beiden Abständen ist 9650<sup>m</sup>,7.

Es ist leicht jede beobachtete Dauer, z. B. 28",7, in die zu verwandeln, welche sie für diese letztere Entfernung seyn würde. Für den aufsteigenden Schall wird die an der beobachteten Dauer anzubringende Berichtigung seyn:  $+28",7 \left( \frac{9650,7}{9624,2} - 1 \right) = +0",08$ ; für den niedersteigenden wäre sie  $-0",08$ .

Berichtigten wir hienach die Mittel der Beobachtungen von jedem Abend, nehmen wir die halbe Summe aus den an jedem Abend von den beiden Beobachtern der oberen Station gelieferten Mittelwerthe, und bezeichnen wir endlich mit *K* das Verhältniss der Spannung des in der Luft vorhandenen Wasserdampfs zum Barometerdruck, dann haben wir die Resultate der folgenden Tafel:

**Mittlere Dauer der Fortpflanzung des Schalls.**

Sept.	Dauer der Fortpflanzung.		Mittel.	Mittel-temperat.	Dauer reducirt auf 0°	Mittel von <i>K</i> .	Dauer in trockner Luft b. 0°
	Aufsteig.	Niederst. Schall.					
24	28",545	28",55	28",547	+7°,25C.	28",922	0,0108	28",982
25	28",71	28",61	28",66	+6",77	29",010	0,0117	29",074
27	28",42	28",47	28",445	+10",42	28",984	0,0126	29",053
Mittel	28",558	28",543	28",551	+8°,17C.	28",972	+0,0117	29",036

**Schallgeschwindigkeit.**

| 337<sup>m</sup>,92 | 338<sup>m</sup>,10 | 338<sup>m</sup>,01 | 333<sup>m</sup>,11 | 332<sup>m</sup>,37

Ver-

Vergleicht man den Gang des aufsteigenden Schalls mit dem des niedersteigenden, so sieht man zuvörderst, dass beide einander gleich sind. Die kleinen von Tag zu Tag veränderlichen Unterschiede, röhren ohne Zweifel von dem Winde her, der während der Beobachtungen wehte. Uebrigens war diese Wirkung immer nur von geringem Belang und ihr Einfluss muss aus dem Mittel der drei Abende fast gänzlich verschwinden.

Es scheint indessen, sowohl durch Theorie als durch Erfahrung, dass die Schallgeschwindigkeit unabhängig ist vom Barometerstand; allein, wenn man auch dies Gesetz annimmt, so könnte man doch glauben, dass die Fortpflanzung einer aufsteigenden Schallwelle in ihrer Geschwindigkeit modifizirt werde durch den Uebergang in eine immer lockere Luft, und dass eine umgekehrte Abänderung bei der niedersteigenden Welle stattfinde. Man würde dann zwischen der Geschwindigkeit des Gehens und Kommens constante Unterschiede wahrnehmen, allein der Unterschied 0",15 zwischen den beiden Zeiten ist ein solches Minimum, dass es dieser, übrigens auch nicht durch die Theorie begründeten Ansicht gänzlich widerspricht.

Wie dem auch sey, und selbst wenn die Dichtigkeitsveränderung des durchlaufenen Mittels die Schallgeschwindigkeit modifiziren würde, genügte es, zur Elimination dieses Einflusses das arithmetische Mittel aus den Fortpflanzungszeiten des auf- und absteigenden Schalls zu nehmen. Man findet diese Mittel in der vierten Spalte der letzten Tafel.

Um den Einfluss der Temperatur in Rechnung zu ziehen, haben wir angenommen, dass dieses Element vom Niveau des Brienzer See's bis zur oberen, 2119 Meter darüber liegenden Station regelmässig abnehme. Sey  $t$  die so erhaltene Mitteltemperatur: die Reduction auf 0° geschieht dann, indem man die beobachtete Dauer mit  $\sqrt{1+0,00366 \cdot t}$  multiplicirt. Um endlich die Feuchtigkeit der Luft in Rechnung zu ziehen, muss man die Zei-

ten durch  $\sqrt{1 - 0,38K}$  dividiren; der Coëfficient 0,38 bezeichnet den Dichtigkeitsunterschied zwischen trockner Luft und Wasserdampf.

Die letzte Spalte der obigen Tafel zeigt, dass die Resultate der einzelnen Abende bis auf 0,1 Secunde mit einander übereinstimmen. Die Unterschiede lassen sich erklären entweder durch Mangel an Gleichzeitigkeit der wechselseitigen Schüsse, oder durch eine weniger regelmässige Temperatur-Abnahme, als die angenommene; sie überschreiten übrigens nicht die Fehler, die man bei dieser Art von Beobachtungen erwarten kann.

Combinirt man die mit der Entfernung 9650<sup>m,7</sup> erhaltenen mittleren Zeiten, so findet man für die Schallgeschwindigkeit in der Luft pro Secunde die Zahlen, die in der letzten Zeile der vorstehenden Tafel enthalten sind. Wir machen bemerklich, dass das Endresultat 332<sup>m,37</sup> nur wenig von dem der HH. Moll und v. Beek abweicht, denn deren Versuche geben, mit Anwendung des Coëfficienten 0,0366, eine Geschwindigkeit von 332,25 Meter pro Secunde.

Endlich stellt sich noch eine Frage ein. Kann bei Wahrnehmung der Dauer durch den Beobachter selbst eine constante Fehlerquelle hinzutreten? Es scheint zuvörderst, dass die Person, welche beim Erblicken des Blitzes den Sperrhaken zu spät niederdrückte, sich auch beim Hören des Schalls um dieselbe Grösse verspäten müfste. Allein dieser Schluss wird voreilig erscheinen, wenn man bedenkt, dass das in Anspruch genommene Organ in beiden Fällen nicht dasselbe ist; dies macht die Existenz *persönlicher Gleichungen* möglich. Um diesen Verdacht zu prüfen, haben wir die gleichzeitigen Schätzungen von A. Bravais und Martins verglichen, in jedem der 16 Paare, welche diese Schätzungen unter sich bilden. Bei diesem letzten Beobachter überstieg die Mitteldauer des Intervalls um 0,10 Secunde das von seinem Begleiter erhaltene Mittel, und wenn man annimmt,

daß die halbe Summe der beiden Zeiten die wahre Dauer des Intervalles sey, so gehen daraus persönliche Gleichungen  $= \pm 0",05$  hervor. Ein Fehler gleicher Ordnung steht also in der vom dritten Beobachter an der unteren Station gemachten Messung der Dauer zu befürchten.

Wie dem auch sey, das Endresultat unserer Versuche wird seyn: daß auf- und absteigende Schalle in trockner Luft und bei  $0^\circ$  eine Geschwindigkeit  $= 332,4$  Meter in der Secunde besitzen.

*Zusatz.* Wir geben hier die Elemente und Hauptdetails der Rechnung, welche uns die Länge des bei unseren Versuchen vom Schall durchlaufenen Weges kennen lehrte.

#### Berechnung der horizontalen Entfernungen.

Die Seite zwischen Faulhorn-Gipfel und Brienz (Kirche) läßt sich mittelst des Dreiecks Faulhorn-Tannhorn-Brienz (Kirche) berechnen; bekannt darin sind <sup>1)</sup>:

Winkel am Tannhorn . . . . .	$49^\circ 16' 0",8$
Seite Faulhorn - Tannhorn . . . . .	34429,5 Par. F.,
Seite Brienz - Tannhorn . . . . .	11197,6 do.
Daraus: Seite Faulhorn - Brienz . .	$= 9231",6$ .

Dieselbe Seite ergiebt sich aus dem Dreieck Faulhorn - Rothhorn - Brienz, worin bekannt sind <sup>2)</sup>:

Winkel am Rothhorn . . . . .	$11^\circ 8' 15",1$
Seite Faulhorn - Rothhorn . . . . .	40022,5 Par. F.,
Seite Brienz - Rothhorn . . . . .	11923,5 do.
Daraus: Seite Faulhorn - Brienz . .	$= 9231",0$ ,
Mittel beider Resultate . . . . .	$= 9231",3$ .

Im Dreieck Faulhorn (Gipfel) - Brienz (Kirche) - Tracht (Belvedere) kennt man die eben berechnete Seite Faulhorn-Brienz und die folgenden, von uns mit einem Theodolit gemessenen Winkel:

1) und 2) Diese Elemente ergeben sich aus den Dreiecken No. 16 und No. 366 des Registers der Triangulation des Kanton Bern vom Ingenieur Wagner. Das Register befindet sich in den Archiven der Stadt Bern.

Winkel am Faulhorn . . . .  $7^{\circ} 1' 15''$ ,

Winkel bei Tracht . . . .  $74^{\circ} 28' 0''$ .

Daraus ergiebt sich der dritte Winkel; der sphärische Ueberschuss, weniger eine Secunde, kann vernachlässigt werden. Man findet daun:

Seite Faulhorn-Tracht =  $9475^m,7$ .

Das Belvedere zu Tracht ist die Station der *Wahrnehmung* des herabsteigenden Schalls.

Die obere Schiefs-Station fiel nicht genau mit dem Gipfel des Faulhorns zusammen; der Abstand davon betrug  $24^m,1$ . Mit den beiden Seiten  $9475^m,7$  und  $24^m,1$ , und dem eingeschlossenen Winkel  $24^{\circ},23$ , der direct mit dem Theodoliten gemessen wurde, findet man:

Seite Faulhorn (Kanone)-Tracht (Belvedere) =  $9458^{mm,0}$ .

Dieß ist die *horizontale* Entfernung, welche der herabsteigende Schall durchlief.

Mit einer auf ebenem Boden gemessenen Basis von  $45^m,9$ , die einerseits an der Kanone bei Tracht und andererseits an einem Hülfspunkt endete, mit den am Theodolit gemessenen Winkeln an der Basis  $81^{\circ} 49' 50''$  und  $69^{\circ} 57' 35''$ , fand man für die diesem letztern Winkel gegenüberliegende Seite:

Seite Tracht (Kanone)-Tracht (Belvedere) =  $91^m,22$ .

Mit den beiden Seiten  $9475^m,7$  und  $91^m,22$ , mit dem eingeschlossenen Winkel (gemessen am Theodolit)  $20^{\circ} 31'$ , dessen Scheitel im Belvedere zu Tracht liegt <sup>1)</sup>, fanden wir

Faulhorn (Gipfel)-Tracht (Kanone) =  $9390^{mm,31}$ .

Die Hör-Station auf dem Faulhorn endlich, war 5 Meter vom Gipfel entfernt, in einer Richtung, die  $50^{\circ}$  abwich von der, in welcher der auf dem Gipfel befindliche Beobachter nach der Kanone zu Tracht visirte. Man schloß daraus:

*Horizontale Entfernung, aufsteigender Schall* =  $9387^m,1$ .

1) Der Winkel, dessen Scheitel an der Kanone zu Tracht liegt, gab, direct gemessen,  $159^{\circ} 16'$ .

### BERECHNUNG DER VERTICALEN ENTFERNUNGEN.

Der Gipfel des Faulhorn liegt 2683<sup>m</sup>,0 über dem Meere und der Brienzer See (dessen Spiegel zur Sommerszeit kaum um 0<sup>m</sup>,5 schwankt) 563<sup>m</sup>,9 (siehe: *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz*). Der Unterschied 2119<sup>m</sup>,1 wäre der lothrechte Abstand der beiden Stationen, wenn sie genau in jenen Höhen lägen, allein die untere Station lag über dem See, und die obere unter dem Gipfel des Berges. Daher denn die folgenden subtractiven Correctionen.

*Aufsteigender Schall.* Die Kanone zu Tracht stand 1<sup>m</sup>,2 über dem Spiegel des Sees; die Beobachter auf dem Faulhorn befanden sich 1<sup>m</sup>,5 unter dem Gipfel. Daraus:

*Lothrechter Weg des aufsteigenden Schalls* 2116<sup>m</sup>,4.

*Absteigender Schall.* Das kleine Hülfsdreieck zwischen Tracht (Belvedere), Tracht (Kanone) und dem schon erwähnten Hülfspunkt, ein Dreieck, an den Enden von dessen Basis die Höhenwinkel des Belvedere von Tracht gemessen wurden, lehrte, dass die untere Hör-Station (Belvedere zu Tracht) 74<sup>m</sup>,1 über dem Spiegel des See's lag. Die Kanone auf dem Faulhorn stand 3<sup>m</sup>,5 unter dem Gipfel. Man hat also:

*Lothrechter Weg des absteigenden Schalls* 2041<sup>m</sup>,5.

### BERECHNUNG DER SCHIEFEN ENTFERNUNGEN.

*Aufsteigender Schall.* Mit den beiden Componen-ten des Weges, nämlich 9387<sup>m</sup>,1 und 2116<sup>m</sup>,4, dabei die Krümmung der Erde und den die beiden Verticalen trennenden Bogen 0° 5' 4" in Rechnung gezogen, erhalten wir:

Aufsteigender Schall, schiefer Weg . . . . 9624<sup>m</sup>,2.

*Absteigender Schall.* Mit den beiden Componenten 9458<sup>m</sup>,0 und 2041<sup>m</sup>,5, dabei die Krümmung der Erde und den die beiden Verticalen trennenden Bogen 0° 5' 6" in Rechnung genommen, finden wir:

Absteigender Schall, schiefer Weg . . . . 9677<sup>m</sup>,3.

**III. Untersuchungen über die Beschaffenheit der stehenden Wellen; von Hrn. N. Savart.**

(*Ann. de chim. et de phys., Ser. III, T. XIV, p. 385.*)

**W**enn Schallwellen von einem in Schwingung versetzten Körper ausgehen und eine ebene Fläche treffen, so bringen sie ein System von Luftwellen hervor, die keine Fortbewegung zu haben scheinen, und Knoten und Bäuche erkennen lassen, deren feste Stellung leicht durch Beobachtung aufgefunden werden kann.

Nachdem ich diese Thatsache in einer früheren Abhandlung festgestellt <sup>1)</sup>), habe ich die Besonderheiten studirt, welche sie längs der Reflexionsaxe zeigt, d. h. längs der Geraden, welche, durch den Mittelpunkt des schwingenden Körpers gehend, winkelrecht ist auf der reflectirenden Wand. Dabei habe ich gefunden, dass der Abstand zwischen zwei benachbarten Knoten, genommen auf dieser Axe, beinahe gleich ist der Länge einer directen Welle, berechnet aus dem Mittel der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls und der Anzahl der vom tönenden Körper in der Zeiteinheit ausgeführten Schwingungen. Nur allein die erste feste Welle, zwischen der Wand und dem ihr zunächst liegenden Knoten, zeigte eine Ausnahme von diesem Gesetz, indem ich sie bei meinen Versuchen kleiner fand als eine Wellenlänge.

Gegenwärtig beabsichtige ich die Molecularbewegungen zu studiren, die in der Flüssigkeit die Gestalt und Grösse der stehenden Wellen bedingen. Diese Arbeit erfordert, dass ich zu entdecken suche, ob nicht die in der Länge der ersten Welle beobachtete Verkürzung eine Anomalie sey, von der man die Erscheinungen befreien könne; und da ich zur Bestimmung der verschiedenen

1) *Compt. rend., T. VII, p. 1068* (*Ann. Bd. 46, S. 458.*).

Punkte der Wellen, nur das Gehörorgan benutzt habe, sehe ich mich auch genöthigt zuvor festzustellen, welche Lage einer dieser Punkte in Bezug auf das Gehörorgan besitzt, wenn der Beobachter die Empfindung verspürt, welche ihm das Daseyn des nämlichen Punktes anzeigt.

1. Mitten in einer Ebene, die von allen der Schall-reflection fähigen Gegenständen entblößt ist, errichte man eine ebene und lothrechte Wand, und stelle vor derselben, in 15 bis 20 Meter Abstand, einen Körper auf, der, in Schwingung versetzt, einen anhaltenden Ton von unveränderter Stärke giebt.

Zwischen die Wand und den tönenden Körper stelle sich ein Beobachter dergestalt, daß die Gerade, welche durch seine beiden Gehörgänge geht, mit der Reflexions-axe zusammenfalle. In dieser Stellung verstopfe er das gegen den Ursprung der Schallwellen gerichtete Ohr (es sey dies das rechte), und suche dann mit dem offen gelassenen linken Ohr einen Punkt, wo die Intensität des Tones Null ist. Sobald dieser Punkt gefunden worden, bezeichne man mittelst Merkzeichen die Lage, welche der Kopf des Beobachters einnimmt.

Hierauf verstopfe derselbe das gegen die Wand gerichtete Ohr, d. h. in der gemachten Voraussetzung das linke, und suche mit dem jetzt offenen rechten Ohr den Ort, wo er die Empfindung bekommt, die ihm das Daseyn des schon in der vorherigen Operation gefundenen Knotens anzeigt. Mittelst Merkzeichen bezeichne man auch jetzt die Lage des Kopfes.

Es ist klar, daß wenn das Hören in irgend einem Theile des Ohrs, z. B. im Labyrinth, geschieht, wie ich es in meiner ersten Abhandlung über die Schallreflexion angenommen habe, der Kopf des Beobachters sich beim Uebergange von dem ersten Verfahren zum zweiten um eine Gröfse verschieben muß, die gleich ist dem gegenseitigen Abstande beider Labyrinth, d. h. etwa einem Decimeter.

Allein was geschieht, wenn man den Abstand der beiden successiv vom Kopfe eingenommenen Orte misst? Man findet diesen Abstand absolut gleich Null; und in der That, ohne dass man irgendwie die Lage des Kopfes ändert, verbleibt die Empfindung des Knotens, was für eins der beiden Ohren man auch zur Wahrnehmung anwenden möge.

Aus dieser Thatsache geht hervor, dass der Ton von keinem der Theile unseres Gehör-Apparats vernommen wird, vielmehr dass, da diese, als doppelt, symmetrisch zu beiden Seiten der Mittelebene des Kopfes liegen, in dieser Mittelebene selbst der Sitz des Gehörs seyn muss.

Es folgt auch, dass man nicht gezwungen ist, bloß ein einziges Ohr anzuwenden, sondern dass man, um die Lage der bemerkenswerthen Punkte der Wellen aufzufinden, beide Ohren offen lassen kann. Dies verdient sogar den Vorzug, sobald man in dieser Gattung von Beobachtungen hinlänglich geübt ist.

Bei dem eben beschriebenen Versuche kann man, statt des Knotens, die Mitte eines Bauches oder irgend einen andern Punkt der Welle nehmen: immer bekommt man, wenn man seine Stellung nicht ändert, successiv in jedem der beiden Ohren die Empfindung eines Tons von gleicher Stärke. Diese beiden Töne gehören offenbar einem und demselben Punkte an, weil in einer (stehenden P.) Welle die Intensität des Tons, wie wir gefunden haben, von einem Punkte zum andern verschieden ist.

Wenn man mittelst Wülsten aus sehr dickem Stoff, die man an das Profil des Kopfes anbringt, das Hindernis, welches dieser Theil des Körpers den directen wie den reflectirten Schallstrahlen in den Weg legt, bedeutend vergrößert, und nun die Lage eines Knoten oder irgend eines andern Punkts aufsucht, so findet man sie genau eben so wie zuvor ohne diese Vergrößerung des Hindernisses.

Für den Fall also, dass die Gerade, welche durch

die beiden Gehörgänge geht, mit der Reflexionsaxe zusammenfällt, ist es erwiesen, dass der Punkt, dessen Daseyn durch die Gehör-Empfindung angezeigt wird, in der Mittelebene des Kopfes liegt.

2. Ich hatte, wie oben erwähnt, in der früheren Arbeit vorausgesetzt, dass das Hören in dem Labyrinth des offen gelassenen und gegen die reflectirende Wand gerichteten Ohrs geschehe. Da nun der vorstehende Versuch den Ort der Tonempfindung in die Mittelebene des Kopfes versetzt, so bedürfen die Zahlen, welche ich für die Abstände der Wand von den Knoten und Bäuchen der stehenden Wellen gegeben habe, nothwendig einer Berichtigung, und diese Berichtigung besteht darin, dass man zu jedem der Abstände den des Labyrinths von der Mittelebene des Kopfes hinzufügt.

Ich maß an dem Beobachter die Breite des Kopfes, und da ich sie = 154 Millim. fand, wovon die Hälfte 77 Millim., so zog ich von dieser halben Breite die für das Labyrinth angenommene Tiefe 27 Millim. ab, und nahm den Unterschied, also 50 Millim., für den Abstand des Labyrinths von der Mittelebene des Kopfes. Man hat also, um den wahren Ort der Knoten und Bäuche zu erhalten, 50 Millim. zu den von mir angegebenen Abständen hinzuzufügen. Es ist klar, dass diese Addition, indem sie alle Knoten um eine gleiche Grösse verschiebt, die Folge hat, dass sie die erste Welle grösser macht, ohne die folgenden zu verändern. Es könnte also durch diese Vergrößerung die erste Welle allen folgenden gleich werden, und dies ist es, was wir prüfen wollen.

Die Beobachtungen mit einer Glocke (*timbre*), die den Ton  $c_1 \#$  gab<sup>1)</sup>), hatten für die Länge der ersten

1) Nämlich  $ut_3 \#$ ; ich wähle hier wieder aus dem früher (Annalen Bd. 65, S. 446) angegebenen Grunde statt der gewöhnlichen Bezeichnung  $\bar{c} = \equiv$  die den Druck nicht verunstaltende  $c_1, c_{11}, c_{111}$  u. s. w.

Welle geliefert: 0<sup>m</sup>,373. Berichtigt man diese, indem man 0<sup>m</sup>,050 hinzufügt, so kommt:

Länge der ersten Welle . . . . .	0 <sup>m</sup> ,423
Länge der zweiten, direct gefunden . . .	0 ,627
Die erste kleiner als die zweite . . . . .	<u>0<sup>m</sup>,294.</u>

Mit einer andern Glocke, die den Ton  $\alpha$  gab, fand ich die erste Welle = 0<sup>m</sup>,258. Vergrößert um 0,050 hat man:

Länge der ersten Welle . . . . .	0 <sup>m</sup> ,308
Länge der zweiten, direct gefunden . . .	0 ,395
Die erste kleiner als die zweite . . . . .	<u>0<sup>m</sup>,087.</u>

Man sieht, dass, ungeachtet der an der Länge der ersten Welle angebrachten additiven Berichtigung, in den beiden so eben erwähnten Fällen ein bedeutender Unterschied zwischen ihr und der der zweiten Welle bleibt. Woher nun diese Ungleichheit? Diese Frage ist es, welche noch ganz zu lösen bleibt.

3. Man wird zunächst bemerken, dass die Verkürzung nicht constant ist, weil sie im ersten Fall 0<sup>m</sup>,204 und in dem zweiten 0<sup>m</sup>,087 beträgt. Suchen wir also, welcher Umstand dies bewirken konnte.

Die reflectirende Wand blieb dieselbe bei beiden Versuchen. Vielleicht war das ein Grund, weshalb ihr Einfluss, wenn sie einen hatte, verschieden war auf Wellen, die an sich verschiedene Längen besaßen. Allein ich habe mich versichert, dass dieser Einfluss ganz Null ist; ich nahm nämlich als Wand successiv Körper von verschiedener Natur und Dicke, unter welchen ich nur folgende nennen will:

Eine sehr dicke Mauer; — eine Scheidewand von Backsteinen; — eine hölzerne Scheidewand; — eine Fensterscheibe; — ein im Rahmen ausgespannter Papierbogen; — ein Trommelfell, dessen Spannung verändert ward; — Wachstafett, über einen Rahmen gespannt; — Wachstafett, über die Mündung eines Gefäßes gespannt.

Diese Versuche gaben zu bemerken Anlaß, dass der Klang des reflectirten Tons sich mit der Natur des re-

flectirenden Körpers verändert. So z. B. erkannte man sehr gut den dem Glase eigenthümlichen Ton, wenn die Wand aus einer Glasscheibe bestand; allein was die Länge der ersten Welle betrifft, so zeigte sich von einem Körper zum andern kein wahrnehmbarer Unterschied. In der Rolle, welche die Wand spielt, darf man also nicht hoffen, die Ursache der Erscheinung zu finden.

Eben so wenig liegt sie in der Art und Weise, wie die Reflexion geschieht; denn diese, nothwendig von der Länge der Wellen unabhängige Reflexionsweise würde Verkürzungen nach sich ziehen, die diesen Längen proportional wären. Allein diese Proportionalität existirt nicht. Denn bei dem ersten der beiden Versuche, deren Resultate oben angegeben wurden, sehen wir, dass die Verkürzung, verglichen mit der Länge der Wellen, giebt:  $\frac{0,204}{0,627} = 0,33$ , während bei dem zweiten das Verhältniss

der beiden entsprechenden Größen ist  $\frac{0,087}{0,395} = 0,22$ .

Nach diesen fruchtlosen Versuchen haben wir nur noch einen Weg zu ergreifen: uns an den tönenden Körper zu wenden; weil er unter den Elementen des Versuchs das einzige ist, welches wir noch nicht untersucht haben.

Die folgende Tafel enthält die Resultate successiver Versuche mit fünf verschiedenen Glocken (*timbres*), die mit ihren Rändern in eine auf der reflectirenden Wand winkelrechte Ebene gestellt waren und durch einen parallel der Wand geführten Violinbogen gestrichen wurden. Da man den tiefsten Ton hervorrief, den sie geben konnten, so theilte sich ihre Oberfläche in vier Theile, von denen zwei im Sinn der Reflexionsaxe und zwei in darauf senkrechter Richtung vibrirten.

Nummer der Glocken.	Durchmesser der Glocken.	Länge der ersten Welle.	Länge der zweiten Welle.	Verkürzung der ersten Welle.
1	0 <sup>m</sup> ,40	0 <sup>m</sup> ,423	0 <sup>m</sup> ,627	0 <sup>m</sup> ,204
2	0 ,19	0 ,42	0 ,50	0 ,09
3	0 ,18	0 ,308	0 ,395	0 ,087
4	0 ,14	0 ,30	0 ,38	0 ,08
5	0 ,13	0 ,30	0 ,37	0 ,07

*Bemerkung.* Die Glocke No. 1 ist die, welche bei meinen früheren Versuchen den Ton  $c_1 \#$  gab; die Glocke No. 3 ist die, welche den Ton  $a_1$  gab.

Diese Resultate zeigen, dass die Verkürzungen der ersten Welle zugleich mit den Durchmessern der Glocken abnehmen, und dass sie beinahe den Hälften dieser Durchmesser gleich sind, was glauben lässt, dass man die Verkürzungen fast Null machen würde, wenn man Glocken von einem sehr kleinen Durchmesser anwendete.

Allein fahren wir fort, den Einfluss des vibrierenden Körpers auf das uns beschäftigende Phänomen zu untersuchen. Statt den Rand der Glocke in eine auf der Wand winkelrechte Ebene zu stellen, wollen wir ihn in eine damit parallele Ebene bringen. Bei dieser Bedingung sind alle Ungleichheiten verschwunden, wie gross auch der Durchmesser der angewandten Glocken seyn mag; es werden nicht nur die Wellen alle von gleicher Länge, sondern es stellen sich auch die Bäuche in die Mitte des Abstandes zweier benachbarten Knoten, was nicht der Fall ist, wenn die Glocke die frühere Stellung hat.

Dieser Unterschied in der Anordnung der Wellen, hervorgebracht durch eine bloße Änderung in Richtung der Axe des tönenden Körpers, entspringt ohne Zweifel daraus, dass die schwingenden Theile der Glocke, die im ersten Falle ungleich von der Wand entfernt waren, im zweiten einen gleichen Abstand von ihr hatten. Diese Eigenthümlichkeit scheint mir um so merkwürdiger zu seyn, als die mehr oder weniger grosse Entfernung des tönenden

den Körpers von der Wand, wir wir wissen, keinen Einfluss hat auf die Stellung der Wellen.

Wir wollen hier nicht versuchen, diese Thatsache zu erklären; es genügt für den betrachteten Gegenstand zu wissen, durch welches Mittel man jede Complication aus dem Phänomen der festen Wellen entfernen könne. Die verschiedenen Verfahrungsarten, die zu diesem Zwecke führen, ergeben sich leicht aus dem eben Gesagten. Ich beschränke mich also darauf, den Apparat zu beschreiben, den ich bei allen noch zu erwähnenden Versuchen gebraucht habe.

Eine Zungenpfeife mit frei durchschlagender Zunge von sehr geringer Oberfläche wurde an einer der Oeffnungen einer gewöhnlichen Tonne befestigt. Die andere Oeffnung nahm die Düse eines Blasebalgs auf, welcher Luft in die als Windkasten dienende Tonne bringen sollte. Durch diese äußerst einfache Vorrichtung erhielt ich einen Ton von constanter Stärke, der, ohne einen Gehülfen zu erfordern, ohne Geschicklichkeit und Ermüdung, so lange als es die Beobachtungen verlangten, unterhalten werden konnte.

4. Bisher haben wir unsere Aufmerksamkeit auf die Eigenthümlichkeiten gerichtet, die sich längs der Reflexionsaxe wahrnehmen lassen. Untersuchen wir jetzt, was außerhalb dieser Axe vorgeht.

Zu dem Ende errichten wir in irgend einem Punkt der Wand eine auf ihr Winkelrechte und verfahren auf dieser neuen Geraden eben so wie früher auf der Axe, indem wir die verschiedenen Punkte bezeichnen, wo wir die Empfindung eines Knoten oder eines Bauches bekommen. Wir werden finden, daß der erste Knoten um eine Wellenlänge, der zweite um zwei Wellenlängen, u. s. w. von der Wand absteht, daß die Bäuche die Mitten der Wellen einnehmen; mit einem Wort, daß zwischen den Erscheinungen auf dieser Geraden und den früher auf der Axe beobachteten eine Einerleiheit besteht. Da

nun der Vorgang in allen Winkelrechten auf der reflectirenden Ebene derselbe ist, so folgt, daß die Knoten und Bäuche, deren Lage auf der Reflexionsaxe wir bestimmt hatten, nur besondere Punkte sind von Ebenen, deren sämmtliche übrige Punkte dieselben Eigenschaften besitzen.

Allein diese Flächen, die uns vor einer Wand von nothwendig beschränkter Ausdehnung als eben erscheinen, würden sie nicht mehr oder weniger gekrümmt seyn, wenn die reflectirende Ebene nach allen Seiten unbegränzt wäre? Es war wichtig, hierüber keinen Zweifel zu lassen, und deshalb verfuhr ich folgendergestalt:

Als reflectirende Ebene nahm ich die horizontale und unbegränzte Fläche des Bodens. Der den Ton erzeugende Apparat wurde auf ein Gestell von 3 bis 4 Meter Höhe gebracht: Bei dieser Einrichtung war die Reflexionsaxe lothrecht, und ich konnte mich von ihr beliebig entfernen. Und siehe da: in welchen Abstand man sich stellte, wie schief also auch die Schallstrahlen gegen die reflectirende Ebene seyn mochten, so fand man doch die Knoten und Bäuche auf jeglicher Lothrechten eben so vertheilt, als sie es auf der Reflexionsebene sind.

Wenn mithin ein schwingender Körper von so kleinen Dimensionen, daß man alle von ihm abgesandten Wellen als von einem einzigen Punkt ausgehend betrachten kann, sich einer ebenen Fläche gegenüber befindet, so bildet er vor dieser Fläche eine Reihe von Knotenebenen, welche letzterer parallel sind. Diese verschiedenen Ebenen und die Fläche sind um eine Wellenlänge von einander entfernt, und mitten in dem Raume zwischen zwei benachbarten Ebenen befinden sich die Punkte, wo die Intensität des Tons auf ihrem Maximum ist.

5. Unter den vorstehenden Thatsachen bemerken wir: 1) daß die Stellung des tönenden Körpers in Bezug auf die Wand ohne Einfluß ist auf den Ort der Knotenflächen; 2) daß die Knotenflächen Ebenen dar-

stellen, die der Wand in ihrer ganzen Erstreckung parallel sind; 3) dass der reflectirte Ton in seinem Klange verschieden ist nach der Natur des reflectirenden Körpers.

Diese drei Umstände zusammengefasst lassen glauben, dass die stehenden Wellen ihre unmittelbare Ursache in den Schwingungen der Wand haben, und dass die von der ursprünglichen Schallquelle herkommenden Wellen nur in so fern zu der Erscheinung mitwirken, als sie der Wand die Schwingungsbewegung einprägen.

Ist diese Vermuthung gegründet, entspringen die stehenden Wellen aus Schwingungen der secundär erschütterten Wand, so müssen wir hinter dieser Wand ein anderes Wellensystem antreffen; denn bei einem starren Körper von geringer Dicke kann eine der Seiten nicht in Schwingung gerathen, ohne dass nicht der ganze Körper Theil nimmt an derselben Bewegung, und ohne dass er sie nicht den mit ihm in Berührung stehenden Körpern mittheilt.

Die Anwesenheit dieses zweiten Wellensystems ist nun aber durchaus nicht zweifelhaft. Stellt sich nämlich der Beobachter hinter die Wand, dergestalt, dass die Mittellinie seines Kopfes immer dieser Wand parallel bleibt, so findet er, wenn er sich stufenweis entfernt, oder nähert, dass die Tonstärke in Strecken von einer halben Wellenlänge wächst oder abnimmt, dass die Knoten und Bäuche in parallelen Ebenen liegen, mit einem Wort, dass zwischen den beiden Systemen fester Wellen eine vollkommene Symmetrie vorhanden ist. In beiden Fällen müssen die Abstände der verschiedenen Punkte von der nächsten Seite der Wand gemessen werden.

Es ist also erwiesen, dass der reflectirende Körper secundär erschüttert wird, und dass die festen Wellen eine Folge des Schwingungszustandes dieses Körpers sind.

6. In den Punkten, welche die Mitte der Strecke zwischen zwei Knotenebenen einnehmen, und dem Maxi-

mum der Tonstärke angehören, müssen begreiflicherweise die Theilchen des Fluidums eine auf diesen Ebenen senkrechte Vibrationsbewegung besitzen. Dies wird, wie wir sehen werden, von der Erfahrung bestätigt.

In einer Abhandlung über die Zurückwerfung und Beugung des Schalls (Poggendorff's Annalen, Bd. 59, S. 177) hat Hr. Seebeck die Orte der Knoten und Bäuche stehender Wellen mittelst eines sehr sinnreichen Verfahrens bestimmt. Der berühmte deutsche Physiker hat bei seinen Versuchen das Gehörorgan ersetzt durch eine über einen Holzrahmen gespannte Membran aus Goldschlägerhäutchen (*peau très-fixe de cygne*) oder Kautschuck. Da er diese Membran in lotrechter Stellung gebrauchen wollte, und sie also nicht mit Sand bestreuen konnte, so hing er parallel ihrer Fläche ein kleines Pendel auf. Dies war gebildet aus einem einfachen Coconfaden, an dessen einem Ende ein Stückchen Siegellack von der Gröfse eines Stecknadelknopfes befestigt war, während das andere Ende an dem Rahmen der Membran saß, solchergestalt, daß, wenn diese senkrecht war, das kleine Pendel ihrer Mitte entsprach.

Hr. Seebeck brachte eins dieser Instrumente in eine parallele Ebene mit einer lotrechten Wand, und beobachtete, als er den Abstand der Membran von der Wand veränderte, daß das Pendel in Ruhe blieb oder die Lage eines Knoten anzeigen, wenn die Membran sich in Abständen gleich 1, 2, 3, ... Wellenlängen befand; daß das Pendel dagegen sich in dem Maafse stärker bewegte, als es sich von diesen Punkten entfernte, und daß seine Ablenkungen das Maximum der Amplitude erreichten, also die Mitte von Bäuchen anzeigen, wenn die Abstände  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  ... Wellenlängen betrugen.

Diese Resultate stimmen vollkommen mit denen überein, die man mit alleiniger Hülfe des Gehörorgans bekommt; sie zeigen, daß an den Punkten, wo die Bäuche sind, die Schwingungen der Flüssigkeitstheilchen rechtwink-

winklich gegen die Membran und folglich auch gegen die Knotenebenen geschehen.

Wir machen bemerklich, dass die Membran sich nicht nothwendig in der Reflexionsaxe zu befinden braucht, sondern dass der Versuch auch für jede andere, willkührlich vor oder hinter der Wand genommene Lage gelingt. Man kann dazu auch horizontale, mit Sand bestreute Membranen anwenden, wenn man sich des Bodens als reflectirenden Körpers bedient.

7. Bisher stellten wir, wenn es sich darum handelte mit dem Obre zu beobachten, die Mittelebene des Kopfes parallel mit der Wand, und, wie wir wissen, ist dann die Lage des beobachteten Punktes durch die jener Ebene gegeben. Es ist dies nicht das einzige Verfahren, welches man anwenden kann. Nichts hindert z. B. die Mittelebene winkelrecht gegen die Wand zu stellen; auch in dieser Stellung kann das Gehörorgan zur Nachweisung des Daseyns der festen Wellen dienen. In der That findet man, wenn man längs einer auf der reflectirenden Ebene Normalen fortgeht, dass die Intensität des Tons von einem Punkt zum andern variiert, dass es Knoten und Bäuche giebt. Allein welche Beziehung herrscht dann zwischen der Lage des beobachteten Punkts und der des Gehörorgans im Moment, da man die Empfindung bekommt, welche das Dasein dieses Punktes anzeigt?

Um diese Frage zu beantworten, werden wir unsere Zuflucht zu einem ähnlichen Verfahren nehmen, wie wir uns schon in einem sehr ähnlichen Falle bedienten.

Der Beobachter kann, ohne dass die Mittelebene aufhört winkelrecht gegen die Wand zu seyn, seinen Kopf in ganz verschiedene Lagen gegen diese bringen. In der einen wendet er das Gesicht zur Wand, in der andern den Hinterkopf, in einer dritten den Scheitel des Kopfes u. s. w. Bezeichnet man nun jedesmal durch Merkzeichen den von den Gehörgängen eingenommenen Ort, wenn durch die Empfindung das Daseyn einer sel-

ben Knotenebene angezeigt wird, so findet man, daß alle diese Merkzeichen in gleicher Entfernung von der Wand liegen. Wenn also die Mittelebene des Kopfes winkelrecht auf der reflectirenden Ebene ist, liegt der beobachtete Punkt auf der Geraden, welche durch die Gehörgänge geht.

8. Wir haben also zwei Mittel, vermöge des Ohrs die Lage der zu den festen Wellen gehörigen Punkte zu bestimmen. Die Mittelebene des Kopfes kann parallel oder winkelrecht zur Wand gestellt werden, und in beiden Fällen befindet sich der beobachtete Punkt im Durchschnitt der Mittelebene und der Geraden, welche durch die beiden Gehörgänge geht.

Wendet man folgweise diese beiden Mittel zur Aufsuchung der Knoten und Bäuche eines Wellensystems an, so erhält man folgende Resultate:

Beim Parallelismus der Mittelebene und Wand findet man, wie wir schon sehen,

die Knoten bei  $1, 2, 3 \dots$  } Wellenlängen von der Wand ab.  
die Bäuche bei  $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2} \dots$  } die Bäuche bei  $1, 2, 3 \dots$

Bei Rechtwinklichkeit zwischen Mittelebene und Wand:

die Knoten bei  $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2} \dots$  } Wellenlängen von der Wand ab.  
die Bäuche bei  $1, 2, 3 \dots$

Der Vergleich dieser Resultate zeigt, daß die Verteilung der Knoten und Bäuche variiert mit der Lage, welche man der Mittelebene giebt. Wenn man bei der ersten Lage in einem gegebenen Punkt das Daseyn eines Knoten erkennt, so findet man bei der zweiten an demselben Punkt die Mitte eines Bauches. Umgekehrt, wenn man durch das erste Mittel die Mitte eines Bauches erhält, so entdeckt man durch das zweite die Gegenwart eines Knotens.

Dieser Gegensatz in den Resultaten beider Beobachtungsweisen ist sehr merkwürdig und daher wichtig, daß wir die Ursache kennen zu lernen suchen.

Stellen wir die Mittelebene parallel der Wand und suchen einen der Punkte, wo die Tonstärke ihr Maximum hat; dies wird die Mitte eines Bauches seyn, und, wie wir wissen, ist dasselbst die Richtung der Schwingungsbewegung winkelrecht auf den Knotenflächen, folglich auch winkelrecht auf der Mittelebene. Wenn wir nun, ohne diesen Punkt zu verlassen, die Lage der Mittelebene ändern und sie winkelrecht gegen die Wand stellen, so wird die Richtung der Molecularbewegung, die offenbar nicht geändert ist, der Mittelebene parallel seyn. In dieser Lage aber finden wir einen Knoten, vernehmen keinen Ton, und dennoch sind die schwingenden Theilchen auf dem Maximo ihrer Amplitude. Es müssen also die Theilchen, welche parallel der Mittellebene schwingen, keine Wirkung auf unser Gehörorgan ausüben.

Diese, wie uns scheint, rechtmäßige Folgerung erlaubt eine Beziehung aufzustellen zwischen der Richtung der Schwingungsbewegung und der Natur der Eindrücke, die sie in gewissen Fällen auf unser Organ hervorbringen. Die Knoten-Empfindung zeigt also an, dass die Bewegung im winkelrechten Sinn gegen die Mittelebene Null ist, und dass, wenn überhaupt eine Bewegung in diesem Punkt vorhanden ist, sie nur longitudinal gegen jene Ebene seyn kann. Das Daseyn eines Bauches wird anzeigen, dass die Schwingungsbewegung strenge winkelrecht gegen die Mittelebene ist, wenn man in dem beobachteten Punkte für alle Lagen der Mittelebene, die auf ihrer früheren winkelrecht sind, die Empfindung eines Knoten bekommt.

9. Die Anwendung dieser Angaben auf die Resultate der verschiedenen Beobachtungen, welche wir mit dem Gehörorgan gemacht und in dieser Arbeit mitgetheilt haben, liefert folgende Begriffe über die in den festen Wellen vorhandenen Molecularbewegungen. Wir stel-

len sie in einer einzigen Tafel zusammen, damit man die Gesamtheit derselben leicht überblicken könne.

Kürze halber und zugleich, um uns der in der Akustik angenommenen Ausdrücke zu bedienen, werden wir *longitudinal* diejenigen Bewegungen nennen, die im Sinn der Fortpflanzung, winkelrecht gegen die Wand, geschehen, und folglich *transversal* die, deren Richtung der Wand parallel ist. Der Buchstabe *d* bezeichnet ein unbestimmtes und veränderliches Stück einer halben Wellenlänge.

Abstand d. beobacht. Punkte von d. Wand in Wellenlängen.	Stärke des wahrgenommenen Tons.		Schwingungsweite	
	parallel.	winkelrecht.	longitudinal.	transversal.
$d, 1+d, 2+d$	Zu- oder abnehmend, je nachdem <i>d</i> zu- od. abnimmt.	Ab- oder zunehmend, je nachdem <i>d</i> zu- od. abnimmt.	Desto größer, je größer <i>d</i> .	Desto kleiner, je größer <i>d</i> .
$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \dots$	Maximum.	Null.	Maximum.	Null.
$\frac{1}{2}+d, \frac{3}{2}+d, \frac{5}{2}+d, \dots$	Ab- oder zunehmend, je nachdem <i>d</i> zu- od. abnimmt.	Zu- oder abnehmend, je nachdem <i>d</i> zu- od. abnimmt.	Desto kleiner, je größer <i>d</i> .	Desto größer, je größer <i>d</i> .
$1, 2, 3, \dots$	Null.	Maximum.	Null.	Maximum.

Beachtet man den Umstand, dass eine in dem reflectirenden Körper erregte Schwingungsbewegung Luftwellen von fester Lage hervorbringen kann, so wird man zu der Frage geführt, ob nicht ein direct erschütterter Körper ebenfalls Wellen von dieser Natur zu erzeugen vermöge. Ich beabsichtige diese Frage in einer künstigen Arbeit zu behandeln.

---

**IV. Ueber den Ausfluss der tropfbaren Flüssigkeiten durch kleine Oeffnungen im Boden der Gefäße; von Parrot, Vater.**

---

**H**err Dr. O. v. Feilitzsch hat die alte Frage von der Erklärung des Fundamental-Phänomens der Hydrodynamik in den Annalen der Physik und Chemie 1844, No. 9 und 10, wieder zur Sprache gebracht und, nach Anführung der Haupt-Arbeiten über dieses wichtige Thema, eine neue Theorie davon zu liefern versucht.

Wie alle seine Vorgänger betrachtet Hr. v. Feilitzsch die tropfbaren Flüssigkeiten als bloß flüssige Massen ohne Elasticität, indem er zwar ihnen die Elasticität nicht ganz abspricht, aber sie als unbedeutend und als auf das Phänomen des Ausflusses gar nicht einwirkend ansieht. In diesem Punkte stimmt derselbe mit allen den von ihm angeführten Vorgängern ein. Meine Arbeit (im 1sten Bande meiner theoret. Physik, 1809, §. 527—542) war Hrn. v. F. wohl nicht bekannt<sup>1)</sup>.

Es ist mein Zweck nicht, diese etwas dunkle Stelle in der Abhandlung des Hrn. v. F. besonders zu commentiren, auch nicht die Theorie des Verfassers besonders zu beleuchten, sondern die Unrichtigkeit aller bisherigen Theorien, von Newton's Cataracte an, darzuthun, indem sie sämmtlich mit dem Fundamental-Fehler behaftet sind, die tropfbaren Flüssigkeiten als bloß schwere und flüssige, und als unelastische Massen, zu betrachten. Dass

1) Dies ist leicht erklärlich, da diese Arbeit in einem Grundrisse für Vorlesungen vorkommt, der vor 36 Jahren erschien. Ich hatte die paradoxe Idee, dass die Compendien wohl Neues von dem Verfasser selbst enthalten dürften, dadurch mehr Werth erhalten, und so für länger als ein Paar Jahre diesen Werth behalten könnten. Dieser Fehler findet sich sehr oft in demselben Werke.

jeder dieser Autoren durch mehr oder minder richtige Rechnungen auf das Resultat der Experimente kommt, mehr oder minder genau, beweiset nur wie leicht der Mißbrauch der edlen Rechnung in solchen Fällen ist, was ich namentlich an La Place's Theorie der Capillarität (s. Ueber Capillarität, eine Kritik der Theorie des Grafen La Place etc., von G. F. Parrot, Dorpat bei Fr. Meinshausen, 1819) streng nachgewiesen habe. Ich will jetzt beweisen 1) dass die tropfbaren Flüssigkeiten, als bloß schwere und flüssige Massen, den Torricelli'schen Satz nicht erklären können. 2) Dass die tropfbaren Flüssigkeiten die Eigenschaft der Elasticität, und zwar in einem sehr hohen Grade, besitzen. 3) Dass diese Eigenschaft, mit der Schwere und Flüssigkeit verbunden, alle Phänomene des Ausflusses vollkommen erklärt.

**I. Die Schwere allein, bei vorausgesetzter Flüssigkeit, kann die Phänomene des Ausflusses tropbarer Flüssigkeiten nicht erklären.**

Sogar der Grundsatz der Statik der Flüssigkeiten, dass der Druck auf der Grundfläche eines Gefäßes durch das Product der Basis in die Höhe und das specifische Gewicht der Flüssigkeit ausgedrückt wird, lässt sich nicht aus der bloßen Schwere erklären. Denn:

Es seyn *A*, *B*, *C* (Fig. 8 Taf. I) drei oben offene, unten verschlossene, mit Wasser gefüllte Gefäße. Es sey *A* ein Cylinder, die beiden andern Kegel. Für den Fall des cylindrischen Gefäßes ist der Satz in beiden Hypothesen richtig und klar; denn der Druck auf der Grundfläche lässt sich vollkommen aus dem Gewichte dieser Wassersäule, so wie auch aus ihrer Elasticität darstellen. Mit dem Gefäß *B* hat es aber eine andere Bewandtnis. Denn denken wir uns den Cylinder *abba* von gleicher Grundfläche als der Boden, so leistet er schon allein durch sein Gewicht den ganzen Druck auf die Grund-

fläche, und es bleibt eine flüssige, conische, zoneartige Masse, welche durch die Dreiecke  $acb$  und  $acb$  ange-deutet wird, und es fragt sich, welche Rolle sie in dem Phänomen des gleichen Drucks als der des Cylinders  $A$  spielt. Diese Masse ist schwer, wie die übrige; sie liegt auf schießen Flächen und übt also eine verticale Kraft aus, die sich verbält zu ihrer ganzen Schwere wie  $ab : ac$ , da der senkrechte Druck auf der schießen Fläche durch  $bc$  ausgedrückt wird. Was wird aus diesem verticalen Drucke  $ba$ ? Er wird nicht durch die schiefe Ebene zer-stört. Er soll aber auch nicht auf die Bodenfläche wirken. Ferner kann er, als unelastische Masse, keinen Seitendruck ausüben, um so weniger, da er durch die Wand des Gefäßes vernichtet würde. Wollte man endlich diese Masse als ein Aggregat von Keilen wie  $acb$  ansehen, welche längs den Wänden des Gefäßes zu fal-ten trachten, so müfste die Flüssigkeit  $abba$  über ihr ursprüngliches Niveau steigen und folglich einen erhöhten Druck auf die Grundfläche ausüben, abgerechnet, dass eine solche partielle Erhöhung gegen den Begriff von Flüssigkeit streitet. Betrachten wir endlich das conische Gefäß  $C$ , so haben wir im Vergleich mit dem Cylinder  $A$  einen Mangel an schwerer Masse, und den-noch einen eben so starken Bodendruck als in  $A$  und  $B$ . — Was wird hier aus dem Grundsätze, dem höchsten Axiom der Mechanik, dass die Wirkungen den Ursachen proportional siud?

Wenn aber der Satz des gleichen Drucks bei gleicher Grundfläche und Höhe, und bei jeder Figur der Gefäße, sich aus der Schwere allein nicht erklären lässt, wie wird es mit der Lehre des Ausflusses stehen? Wir wollen diese Frage lösen.

Wenn blofs schwere Massen, welche sich wechselseitig berühren, und die Eine  $A$  eine Bewegung in der Richtung beider Schwerpunkte erhält, so wird die Andere  $B$  keine gröfsere und keine kleinere Geschwindig-

keit erhalten können als die Masse  $A$ . Und wenn sie sich vor der Ertheilung der Bewegung an die Masse  $A$  nicht berührten, so wird die Masse  $B$ , sie sey gröfsr oder kleiner als  $A$ , keine gröfsere Geschwindigkeit erhalten, als die Masse  $A$  nach dem Stosse behält, sondern beide werden sich nach dem Stosse fortan berühren und mit einer gemeinschaftlichen Geschwindigkeit bewegen, die durch  $v \cdot \frac{A}{A+B}$  ausgedrückt wird, wenn  $v$  die Geschwindigkeit ist, welche  $A$  ursprünglich erhalten hatte. Sind aber die Massen elastisch, so entstehen die bekannten Phänomene nach den Gesetzen des Stosses elastischer Massen. Diese Sätze sind durch Versuche bestätigt und von allen Dynamikern anerkannt. Es kann also weder durch den Druck, noch durch den Stoss unelastischer Massen eine Acceleration erzeugt werden.

Aber schon Newton wusste durch direkte Versuche, dass in einem vollen Gefäſſe, mit einer verhältnismäſig kleinen Oeffnung im Boden, das Wasser mit der beiläufigen Geschwindigkeit  $v=0,7\sqrt{2gh}$  austieſt, dass aber der Wasserspiegel nur mit der Geschwindigkeit  $v \cdot \frac{d^2}{D^2}$  sinkt. Wir haben also hier eine Acceleration in der Bewegung. Woher aber kommt der Ueberschuss der Geschwindigkeit  $v$  über die Geschwindigkeit  $v \cdot \frac{d^2}{D^2}$ , wenn alle Bewegung von der Schwere herrühren soll? Gewiss nicht von der Flüssigkeit, da die Flüssigkeit keine Kraft ist; noch weniger von der Flächenanziehung, welche überall die Bewegung vermindert. Die Gase fliessen schneller als die tropfbaren Flüssigkeiten, und unter diesen der Syrup langsamer als Wasser. Weder die Zerlegung der Kräfte, noch die Rechnung kann diese Schwierigkeit löſen. Nur Newton's Cataract könnte es, wenn die Versuche sich ihrer Annahme nicht widersetzen, weil in dieser Hypothese die Flüssigkeit nicht durch ihren Druck,

sondern durch den freien Fall zum Ausfließen gebracht und unterhalten wird.

**II. Die Elasticität kommt den tropfbaren Flüssigkeiten in hohem Grade zu.**

Die Dynamiker, indem sie die Elasticität aus den Phänomenen des Drucks und der Bewegung der Flüssigkeiten ausschlossen, scheinen diese Eigenschaft nicht gehörig gekannt zu haben. Früher läugnete man sie in den tropfbaren Flüssigkeiten, zugleich als man sie in den Gasen anerkannte. Heute erklärt man sie in jenen für unbedeutend und mit eben so großem Unrechte.

Da es hier nicht gilt eine Theorie der Elasticität überhaupt zu liefern, welche von mehreren Physikern mit großem Erfolge bearbeitet worden und noch bearbeitet wird, so beschränke ich mich auf folgende sehr einfache Betrachtung:

Wenn man eine Portion atmosphärischer Luft einem Drucke von 812 Atmosphären aussetzte, so würde sie nahezu die Dichtigkeit des Wassers haben, vorausgesetzt, dass das Mariotte'sche Gesetz sich bis dahin bestätigte<sup>1)</sup>). Würde man aber die Elasticität dieser Luftportion deshalb läugnen, oder für unbedeutend halten, weil eine sehr bedeutende Zulage an Druck nur eine sehr geringe Volumverminderung bewirken würde? Man muss vielmehr diesen Elasticitätsgrad für sehr hoch halten, im Vergleich der andern Elasticitätsgrade, die wir kennen. Möge man diesen Widerstand des Wassers gleichviel welcher Ursache zuschreiben, so ist er da, und wir nennen ihn *Elasticität der tropfbaren Flüssigkeiten*; und er muss

1) Die Pariser Academie hat es bis zum 27sten atmosphärischen Drucke bewährt gefunden. In meinen Versuchen wurde sie bis 70 solcher Drucke vollkommen bestätigt und mit einiger Ungewissheit bis 100. S. in den *Mémoires de l'Académie de St. Petersbourg*, 6. Série, T. II, *Sciences mathém. et phys.* 1832, meine *Experiences de forte compression*, p. 615.

sich thätig zeigen, so oft wir ihn durch Vermehrung des Drucks oder durch Verminderung dazu auffordern.

Die Phänomene der Elasticität der starren Körper zeigen uns ganz analoge Resultate. Wie klein ist nicht die Abplattung im Contacte bei dem Stofse zweier elsenbeinernen Kugeln, oder bei dem Fall einer solchen Kugel auf eine sehr harte Fläche! Es sey z. B. eine solche Kugel von zwei Par. Zoll Durchmesser auf eine gehärtete Stahlplatte von einer Höhe von  $1\frac{1}{2}$  Fuß gefallen, so zeigt sich ein Fleck, dessen Durchmesser etwa 1 Linie ausmacht, und es zeigt die Rechnung, daß der Zurücktretungsraum 0,00036 oder etwa  $\frac{1}{2777}$  Linie tief war. Und diese kleine Gröfse erscheint noch zu groß; denn, da man den Durchmesser des Oelfleckens zum Maafse genommen hat, muß man die Dicke der Oelschicht, die man aufgestrichen hat, noch in Betrachtung ziehen, welche den wahren Durchmesser des Abplattungskreises grölser erscheinen läßt, indem das Oel durch den Stofs nach allen Richtungen auszutreten gezwungen wurde. Nach den Begriffen, wonach man die Elasticität des Wassers für ganz unbedeutend hält, würde die der elsenbeinernen Kugel auch höchst klein erscheinen, da man sie doch, nach den Versuchen auf der Percussionsmaschine, für bedeutend hält. Ich könnte mehrere Betrachtungen dieser Art anstellen. Allein es ist an diesen genug, um zu zeigen, daß die Gröfse des Zurückdrängungsraums nicht zum Maafsstabe für die Gröfse der Elasticität, weder in den festen, noch in den flüssigen Körpern genommen werden kann, sondern *die Kraft, mit welcher der Körper in seinen vorigen Zustand zurückzutreten trachtet, verglichen mit derjenigen, welche angewandt werden mußte, um seinen natürlichen Zustand zu verändern.* Es sey also diese Kraft  $= p$  und jene  $= q$ , so ist die Gröfse der Elasticität  $= \frac{q}{p}$ . Ist  $q = p$ , so ist die Elasticität vollkommen, das heißt im Maximo. Nach unsern

bisherigen Versuchen haben wir Ursache anzunehmen, dass die Elasticität aller Flüssigkeiten in diesem Falle sey, mithin im höchsten Grade bedeutend, in den festen Körpern aber meist unvollkommen.

Vergleichen wir die Gase mit den tropfbaren Flüssigkeiten, so finden wir zwischen diesen zwei Gattungen von Substanzen zwei charakteristische Unterschiede. Der Eine uns in die Augen fallende ist, dass die tropfbaren Flüssigkeiten eine viel gröfsere Adhäsion ihrer Theile unter einander haben, die Gase aber eine sehr geringe <sup>1)</sup>, welches mit Ursache ist, dass ihr Ausfluss mit bedeutend gröfserer Leichtigkeit stattfindet. Der zweite Unterschied ist, dass die Gase, wie wir sie unter dem mittleren Druck der Erd-Atmosphäre besitzen, durch kleine Drucke eine sehr grosse Volumverminderung erleiden, die tropfbaren Flüssigkeiten hingegen durch sehr grosse Drucke nur sehr kleine. Wir werden weiterhin sehen, wie, ungeachtet dieser dem Volum nach sehr kleinen Veränderung, die Elasticität dieser Flüssigkeiten dennoch die Phänomene des Ausflusses nach den bekannten Gesetzen entstehen lässt.

Wenn man eine Sand-Uhr in ihrer Thätigkeit betrachtet, so zeigt sich bei dem ersten Blicke an der Oberfläche der Sandmasse, in der verticalen Richtung des Abflusses des Sandes, eine Vertiefung, die anfangs beinahe unmerklich ist, sich aber nach und nach zu einem Trich-

1) Diese Eigenschaft der Gase war lange unbekannt und sogar geläugnet. Man dachte sogar das Gegenteil der Adhäsion annehmen zu müssen, weil eine comprimire Gasportion sich augenblicklich wieder ausdehnt, sobald die Compression aufhört. Mein Sohn (Friedrich), Professor in Dorpat, war der Erste, der, noch in seinen Studenten-Jahren, durch Versuche sie darstellte, indem er, mittelst des von ihm damals erfundenen Gasometers, Gase durch enge Mündungen unter beständig gleichem Drucke ausfliessen ließ. Young hat, bald nachher, diese Eigenschaft der atmosphärischen Luft als die Gränze der Höhe der Erd-Atmosphäre anzeigend oder vielmehr bestimmend aufgestellt.

ter erweitert, völlig wie Newton seine Cataracte für den Ausfluß des Wassers sich dachte, aber in der That nicht ist. Dieser Ausfluß aber würde bald aufhören, wenn die Luft im untern Gefäße (die durch die Sandmasse immer dichter werden müßte und elastischer), indes die Luft im obern Gefäße, immer verdünnt und minder elastisch, sich nicht zwischen den feinen Sandkörnern durcharbeiten könnte. Bedenkt man, daß z. B. eine Stunde Zeit erfordert wird, um die kleine Sandmasse aus dem obern Glase in das untere fallen zu lassen, und daß, vermöge dieser langen Zeit, der Widerstand, den die aus dem untern Glase in das obere dringende Luft dem Fallen des Sandes einen äußerst kleinen Widerstand entgegenstellt, so muß man sich über diese lange Zeit wundern. Denkt man sich hingegen, daß Wasser an Stelle des Sandes im obern Glase wäre, so würde es nicht eine Minute zum Abfließen brauchen, vorausgesetzt, daß man im obern Boden des obern Glases und am Halse des untern ein kleines Loch angebracht hätte, um die äußere Luft in's obere einzulassen und in dem untern auszulassen.

Aus dieser Vergleichung folgt, daß der Sand nicht durch den Druck der obären Schichten ausgetrieben wird, wie es mit dem Wasser stattfindet, sondern dadurch herauskommt, daß, wenn die erste Schicht in der Öffnung frei herabgesunken ist, die nächste ihr, eben auch durch den freien Fall, folgt, indem sie die Stelle der ersten annimmt, und also alle diese Schichten nur mit einer Anfangsgeschwindigkeit herausfallen. Diese Ansicht wird durch folgende sehr auffallende Versuche bestätigt<sup>1)</sup>.

Eine Röhre von verzinntem Blech, 20 Par. Fuß lang

1) Ich stellte sie im Jahre 1820 oder 1821 zum ersten Male an, um einem Freunde die Unhaltbarkeit der *Théorie de la poussée des terres* des ehrwürdigen Veterans Prony zu beweisen, und habe sie nachher in meinen Vorlesungen zum Behufe meiner Theorie des Ausflusses der Flüssigkeiten wiederholt.

und 4 Zoll Durchmesser, hatte an ihrem oberen Ende einen Trichter von etwa 6 Zoll Höhe, 18 Zoll im oberen Durchmesser und 4 Zoll im untern, wodurch er an der langen Röhre angelöhet wurde, um Sand in die Röhre zu füllen. Am untern Ende der Röhre war ein Knie von gleichem Durchmesser aufgeschoben, so dass der horizontale Theil des Kniees um 6 Zoll seitwärts hervorragte. Die lange Röhre war vertical aufgestellt und wurde nun, anfangs sehr langsam, dann schneller gefüllt. Der Sand war fein und Tags vorher in einem Backofen stark getrocknet. Am Tage des Versuches zeigte er nicht die allermindeste Feuchtigkeit. Als die Röhre mit sammt dem Trichter gefüllt war, fand es sich, dass er nicht nur nicht aus der Seitenröhre ausgeflossen war, sondern sich schräge gelegt hatte, ungefähr wie derselbe Sand, frei in Kegelform auf dem freien Boden sanft geschüttet, sich legt. Als ich das geradlinige Knie durch ein krummliniges ersetzte, fand derselbe Erfolg statt.

Ich nahm das Knie ab und ließ nahe über der untern Mündung der langen Röhre drei Füsse wie *a* und *c* von Gardinendraht, welche unten spitzig waren, anlöthen, theils um die Mündung der Röhre etwa 1 Fuß hoch über dem Fußboden zu halten, theils damit sie sich aus ihrer Stellung nicht verrücken lasse. Nach der gehörigen Stellung der Röhre schüttete ich unter ihrer Mündung einen Haufen Sand, bis zu etwa  $2\frac{1}{2}$  Zoll über dieselbe, und rund herum, bis der Sand seine natürliche Böschung bildete, welche ungefähr  $35^\circ$  beträgt. Nun wurde die Röhre immer sachte gefüllt. Diese hohe Sandsäule, von welcher man hätte erwarten sollen, dass sie sich mit ihrem ganzen Gewichte senken und den unten liegenden Sandkegel auseinanderjagen würde, blieb in der Röhre hängen und trieb die Spitze des Kegels nur sehr wenig in die Breite.

Endlich legte ich an die Mündung der verticalen Röhre (Fig. 1, Taf. I) eine Zugklappe wie *X*, welche

sich in einem viereckigen Falze in horizontaler Richtung hin und her schieben liefs, um die Röhre zu schliesen oder zu öffnen. Nun wurde bei geschlossener Röhre wieder Sand auf den Boden bis zur Berührung der Klappe und etwas darüber geschüttet. Dann liefs ich die Röhre füllen, und gleich darauf zog ich die Klappe heraus. Die äußere Sandoberfläche verflachte sich sehr wenig, so dass diese kleine Wirkung sehr gut nur dem natürlichen Falle der ganzen Sandsäule in den leer gewordenen Raum der Klappe zuzuschreiben ist.

Diese drei Versuche, welche gewiss zu den auffallendsten in der Dynamik gehören, beweisen, dass der Lateral-Widerstand einer Sandschicht von 2 bis 3 Zoll Dicke fähig ist den Fall einer Säule gleichen Sandes von  $20\frac{1}{2}$  Fuß Höhe, die über 220 Pfd. russ. wog, zu verhindern, und also diese Säule trägt. Sie beweisen, dass der Sand keinen Seitendruck aufsert, und dass also nur solche Körper einen Ausfluss bewirken können, die durch ihr Gewicht die Elasticität (welche nach allen Richtungen wirkt) in Thätigkeit setzen<sup>1)</sup>.

Man kann nicht einwenden, dass die Erfolge der obigen Versuche der Reibung der Sandkörner zuzuschreiben sey. Denn es ist keinem Zweifel unterworfen, dass, wenn ich an der verticalen Röhre einen Boden mit einem Loche angebracht und einen freien Raum unterhalb gelassen hätte, und dieses Loch nur 2 oder 3 Linien im Durchmesser gehabt hätte, der Sand aus dieser Oeffnung

1) Ich kann nicht umhin hier wieder zu erinnern, dass die Mathematiker, welche ihre Wissenschaft mit so grossem Aufwande von Scharfsinn auf die Naturlehre anwenden, vor Allem die Vorsicht haben sollten, die nöthigen Versuche anzustellen, um ihre Grundformeln zu construiren. Hätte Prony die eben erwähnten oder ähnliche Experimente angestellt, so würde der berühmte Analytiker seine durchaus nicht haltbare *Théorie de la poussée des terres* nicht aufgestellt und den falschen Begriff von *fluides imparfaits* in die Wissenschaft eingeführt haben. Sand, Erden, Humus sind gar keine Flüssigkeiten, weder vollkommene, noch unvollkommene.

gefallen wäre, wie es in der Sand-Uhr geschieht, und zwar mit keiner grössern Geschwindigkeit. Woraus wir den Schluss ziehen müssen, dass, um den Ausfluss mit der Geschwindigkeit  $v = n \cdot \sqrt{2gh}$  zu bewirken, der von der Höhe abhängige Druck der Flüssigkeit einen Seitendruck erzeugen muss. Dass aber die tropfbaren Flüssigkeiten, so gut als die Gase, einen Drucks nach allen Richtungen fähig sind, das beweisen alle Versuche mit Seitenausflüssen und die Springbrunnen. Dass aber kein Aggregat von harten Körnern fähig sey, in einer verticalen Säule nach unten drückend, ein Aufsteigen in einer andern, gleichfalls verticalen oder nur horizontalen, communicirenden Röhre zu bewirken, bedarf nach den obigen Versuchen kaum einer Erwähnung.

### III. Erklärung der Phänomene und Gesetze des Ausflusses der tropfbaren Flüssigkeiten.

1) Schon Bossut hatte beobachtet, dass, wenn ein Gefäß mit einer verhältnismässig kleinen Oeffnung am Boden mit Wasser gefüllt worden, und man dann durch diese Oeffnung das Wasser ausfliesen lässt, die Oberfläche des Wassers bis zu einer kleinen Entfernung vom Boden beständig eben bleibt, jedoch nur unter der Bedingung, dass das Wasser vorher völlig ruhig geworden war.

2) Wenn aber das Wasser im Gefäse nicht völlig ruhig ist, so bildet sich bald in der Mitte der Oberfläche eine Vertiefung, desto grösser, je grösser die Bewegung ist. Erzeugt man absichtlich eine gyratorische Bewegung in der Wassermasse, so bildet sich förmlich ein hohler Trichter, in welchen die Luft einfließt. Ist diese Bewegung stark, so reicht die Spitze dieses Trichters bis unterhalb der Ausflussoffnung, und die Wasserader bildet unter dem Boden des Gefäßes eine Blase, die sich nach unten schraubenförmig zuspitzt, und dann herum versprützt wird.

3) Wenn das Wasser im Gefäße völlig ruhig war, zeigte es sich in meinen Versuchen:

a) daß das Wasser zu Fließen aufhörte, wenn nur noch eine 1 Linie dicke Schicht auf dem Boden zurückblieb.

b) Während des Ausflusses blieb die Oberfläche des Wassers eben. Erst wenn der Spiegel sich so weit genähert hatte als  $\frac{1}{4}$  des Durchmessers der Ausflußöffnung + die eben erwähnte Höhe  $a$ , fängt die Vertiefung des Spiegels an merklich zu werden.

4) Wir haben wieder unser Gefäß mit der Bodenöffnung (Fig. 2, Taf. I) mit Wasser gefüllt, und hängen in dasselbe kleine Kugeln, die specifisch etwas schwerer sind als dieses Wasser, und zwar in verschiedenen Höhen nicht weit vom Boden und in verschiedenen Entfernungen von der Axe der Oeffnung. Sobald der Ausfluß anfängt, werden diese Pendel sich dieser Axe mehr oder weniger nähern, nachdem sie näher am Boden und an dieser Axe oder weiter davon entfernt aufgehängt wurden. Sind z. B. die Pendel *ad* und *ch* in gleicher Entfernung von der Axe, aber *ad* tiefer als *ch*, so wird die Kugel *d* sich der Axe bedeutend mehr nähern, als die Kugel *h*. Hängt man nun mehrere solche Pendel auf einem Radius *eb*, und hebt jedes derselben, bis es sich eben nicht mehr gegen die Axe der Bodenöffnung nähert, so sieht man, daß die Strömungen die Gestalt annehmen, welche die Fig. 2 zeigt. Der höchste Punkt der krummen Linie steht um 4 Durchmesser der Oeffnung über dem Boden. Es versteht sich von selbst, daß dieser Versuch mehrere Proben erforderte. Die Pendelkugelchen waren von Wachs, von gleichem Durchmesser und mit etwas eingedrücktem Blei gleichmäßig schwerer gemacht.

Wenn ich ein Pendel so aufhing, daß es die Axe der Oeffnung erreichte, so blieb es daselbst in beständigem Zittern, so lange der Wasserdruck hinreichend dazu war. Denn, so wie die Höhe des Niveau's, und also der

Druck,

Druck, abnahm, waren die Strömungen schwächer und die ganze Gränze der Strömungen senkte sich allmälig.

5) Ich füllte das Gefäß mit zwei Flüssigkeiten von verschiedener Farbe (auch mit dreien), deren specifisches Gewicht nur um etwa  $\frac{1}{1000}$  verschieden war. Die Gränzen zwischen denselben waren scharf bezeichnet <sup>1)</sup>). Als Alles in Ruhe war liess ich den Abfluss erfolgen und es zeigte sich, das jede Gränze zwischen je zwei Flüssigkeiten völlig horizontal und eben blieb, bis sie in einer

1) Das Instrument, womit ich solche Füllungen mit bedeutender Genauigkeit ohne Verwischung der Gränzen zu Stande bringe, besteht aus einem Trichter mit hinlänglich langer conischer Spitze, deren unteres Ende etwa 4" Durchmesser hat. Zu dieser Spitze ververtige ich einen Korkstöpsel mit 4 schmalen Längeneinschnitten, welche eben so viele kleine Kanäle bilden. Die untere Fläche des Korks ist etwas gewölbt, damit die Flüssigkeit auf allen vier Seiten ihren Ausfluss erhalten könne. Für den oberen Theil dieser Spitze, am Uebergange aus dem Trichter in dieselbe, ist ein anderer sehr weicher Korkstöpsel mit einem eingekitteten Stiele von starkem Drahte, mit welchem man den Abfluss der Flüssigkeit des Trichters willkührlich zulassen oder hemmen kann. Will man den Abfluss beginnen lassen, so dreht man den Stöpsel langsam herum, um ihn auf diese Art nur um ein sehr Weniges zu lüften. Allmälig lässt man diese Lüftung wachsen, und wenn die eingeflossene Flüssigkeit etwa 2" Höhe erreicht hat, kann man den Stöpsel ganz aus dem Halse des Trichters ziehen. Die Füllung selbst geschieht auf folgende Art: Man gießt zuerst die leichtere Flüssigkeit, so viel man ihrer haben will, in's Gefäß und lässt sie zur Ruhe kommen. Dann wird die Spitze des Trichters mit derselben gefüllt und mit dem Stöpsel gesperrt. Die Flüssigkeit wird in der Trichterspitze schweben. Nun wird der eigentliche Trichter getrocknet, die schwere Flüssigkeit hineingegossen und in senkrechter Richtung das Ganze auf die Mitte der noch verschlossenen Bodenöffnung gesenkt. Endlich lüftet man den Stöpsel wie eben gesagt worden, wodurch die zweite Flüssigkeit gehörig gefüllt wird. Soll eine dritte nachfolgen, so wird der Stöpsel wieder zugedrückt, der Trichter trocken gemacht und die neue Flüssigkeit hineingegossen, die nun ihre angewiesene Stelle am Boden des Gefäßes allmälig einnimmt. So auch eine vierte und fünfte, wenn man es wünscht. Endlich schliesst man den obern Stöpsel ganz und zieht den ganzen Apparat sehr langsam und in senkrechter Richtung ganz heraus. Es entsteht dadurch keine merkliche Störung in den Schichten.

gewissen Entfernung vom Boden gesunken war, welche Entfernung weiterhin bestimmt werden wird. Daraus folgt, dass die Behauptung gewisser Hydrodynamiker irrig ist, dass das Wasser *von oben herab* in hyperbolischen Krümmungen nach der Ausflussöffnung sich bewegt. Es ist also wahr, dass das Wasser so ausfließt wie Fig. 2, Taf. I zeigt<sup>1)</sup>.

6) Setzt man auf die Ausflussöffnung eine Röhre *abba*, Fig. 3, von gleichem Durchmesser, und deren Höhe = 4 Durchmesser der Oeffnung, und senkt zwei der obigen Pendel in die Flüssigkeit, so dass das eine in *d*, das andere in *e* hänge, und dass die Kugel des erstern in der Höhe der Mündung *bb*, die andere nur um einen oder zwei Durchmesser der Röhre von ihr abstehe, so wird das Pendel in *d* die Lage *dv* annehmen, das andere aber seine verticale Lage *eu* behaupten, wenn die Ausflussmündung geöffnet wird, obgleich das letztere Pendel näher an der Röhre hängt.

7) Nach dem gänzlichen Abflusse der Flüssigkeit aus dem Gefäße lasse man die Pendel an den früheren Punkten *d* und *e* hängen und fülle das Gefäß mit zwei Flüssigkeiten von verschiedener Farbe, deren Gränze etwa in *PP* sey. Sobald diese Gränze durch den Abfluss sich der Oeffnung *bb* genähert, fangen die zwei Farben an sich über *bb* zu vermischen und zusammen auszufließen; bald aber hört diese Vermischung auf, sobald *PP* die Tiefe *bb* erreicht hat, und die Gränze erhält die Figur *fbbf*, ohne mehr von der untern Flüssigkeit mitzunehmen. Schliesst man unter diesen Umständen plötzlich

1) In dieser Figur stellen die dunklern Tinten die grölsern Geschwindigkeiten vor. Man begreift leicht, dass diese Figur nicht in allen Fällen die nämliche ist. Sie variiert nach dem Verhältnisse der Breite zur Höhe des Gefäßes und vorzüglich nach dem Verhältnisse des Durchmessers der Ausflussöffnung zu dem des Gefäßes in *fg*. Eine Gleichung für die Krümmung *fkg* wird auch die scharfsinnigste Analysis schwerlich finden, so nützlich es auch seyn möchte wenigstens den Scheitel derselben anders als durch Versuche bestimmen zu können

die Mündung  $aa$ , so wird die Oberfläche der untern Flüssigkeit, und also die Gränze, wieder eben wie  $ox$  unterhalb der Oeffnung  $bb$ ; öffnet man die untere Mündung  $aa$  wieder, so krümmt sich die Gränze wieder wie  $fbff$ .

Lässt man die ganze Flüssigkeit bis  $bb$  abfließen, so bleibt die Gränze in  $ox$  unverwischt zurück.

Wiederholt man denselben Versuch mit drei Flüssigkeiten, so bleiben am Ende des Abflusses eine dünne Schicht der mittleren und eine dickere der obersten in der Höhe  $bb$  zurück.

Diese letzten Versuche lehren uns mit Bestimmtheit etwas das man schon aus den Versuchen mit den Pendeln vermuthen konnte, nämlich daß die Flächenanziehung der Theilchen der Flüssigkeit unter sich an der Bestimmung der krummen Linien, welche das Wasser in der Nähe der Oeffnung während des Ausflusses beschreibt, einen sehr thätigen Anteil nimmt. Denn, wenn wir den Durchschnitt der Oeffnung  $\pi r^2$  nennen und  $x$  die Höhe der horizontalen Wasserschicht, welche mit der zukommenden Geschwindigkeit einen hinreichenden Zufluss am Rande der Oeffnung erzeugen soll, so haben wir  $\pi r^2 = 2\pi r x$  und  $x = \frac{1}{2}r$ . Wir sehen aber durch die ersten Pendel-Versuche, daß diese Höhe mit immer abnehmender Geschwindigkeit bis zur Höhe  $8r$  sich erstreckt, welches sich nicht wohl anders als mit Zuziehung der Thätigkeit der Adhäsion erklären läßt. Was wir aber hier nur schließen, das zeigt der sechste Versuch klar dem Auge. Denn das Wasser innerhalb  $fbm$  ist über sein Niveau nach  $bb$  geschleppt worden, welches weder der Druck noch die Elasticität vermögen. Das Phänomen, daß, bei Anwendung von drei Flüssigkeiten, zuletzt eine dünne Schicht von jeder der zwei oben zurückbleibt, ist eine Wiederholung des Versuches mit zwei Flüssigkeiten unter immer verminderter Druckhöhe.

Aus dem bisher Vorgetragenen ziehen wir den Schluss,

dafs, wenn man eine Flüssigkeit durch eine Seitenöffnung *i o* (Fig. 4, Taf. I) aus einem Gefäſe *A* ausſieſſen läſſt, der Raum, in welchem alle Strömungen sich befinden werden, durch Linien wie *f g o* begränzt wird, und dafs man, um die Reibung am Boden zu vermeiden, dafür sorgen muſſt, dafs der Punkt *g* höchstens den Boden erreiche. Der Verlust, den man durch Erhöhung der Seitenöffnung über den Boden erleidet, kann man durch eine geneigte Ansatzröhre vollkommen ersetzen. So flieſſt das Wasser in Fig. 3 nicht minder schnell, wenn gleich die obere Mündung *b b* der Röhre um 8r über der Ausfluſſöffnung *a a* steht.

Nach diesen Prämissen der Erfahrung, welche alle Schwierigkeiten aus dem Wege räumen, können wir nun den *Torriceſſischen Satz* aufstellen.

Ich nenne elastisch alle Flüssigkeiten, die, wenn sie durch eine äußere Kraft comprimirt werden, eine Kraft nach auſſen in allen Richtungen äußern, und, nach aufgehobenem äußern Drucke, sich mehr oder minder vollkommen in ihren vorigen Stand von selbst wieder setzen. *Diese Wiederherstellung ist eine Bewegung*, welche also als eine Kraft wirken muſſt gegen jeden Körper der ihr im Wege steht, und ihm Bewegung ertheilen wird. Da aber diese Wege in allen Richtungen stattfinden, so muſſt jeder Körper, der in irgend einer dieser Richtungen sich befindet, selbst in Bewegung versetzt werden, wenn sein Widerstand nicht überwiegend ist.

Es sey also ein Gefäſs mit einer tropfbaren Flüssigkeit angefüllt. Diese Flüssigkeit, als eine elastische, muſſt angesehen werden als aus physisch unendlich dünnen horizontalen Schichten bestehend, welche nach allen Richtungen einen Druck äußern. Da nun ihre Elasticität durch den Druck, den jede von den obern erleidet, bedingt und diesem Drucke proportional ist, so wächst die Elasticität einer jeden von oben nach unten im Verhältniß der Anzahl der darüber befindlichen Schichten. Den-

ken wir uns, dass plötzlich ein Loch im Boden entstehe, so wird die Flüssigkeit ausfließen vermöge aller Kräfte und also aller Geschwindigkeiten, die jede Einzelne für sich äussern kann, welche von der Null an arithmetisch wachsen. Da nun der freie Fall der Körper auch nur durch Summierung von arithmetisch zunehmenden Geschwindigkeiten stattfindet, so muss auch der Ausfluss der Flüssigkeiten aus einer Oeffnung im Boden nach dem Gesetze des Falls der Körper stattfinden, — *welches der Torricellische Satz ist.*

Nun bleibt uns noch übrig zu zeigen, wie andere Phänomene des Ausflusses tropbarer Flüssigkeiten sich nach der obigen Theorie erklären lassen, welches eine neue Bestätigung dieser Theorie abgeben wird, da eine andere Erklärung derselben unmöglich ist.

Wir nehmen wieder das Gefäss *A* (Fig. 4, Taf. I), aber ohne die Seitenöffnung *i o* und die dazu gehörigen Linien, und versetzen die Ausflussöffnung *d* in die Mitte des Bodens. An dieser Oeffnung wird die communicirende krumme Röhre *den*, deren horizontale Mündung *n* in derselben horizontalen Linie als *d* sich befindet, angebracht.

Ist die Mündung *n* verschlossen, so ist der Druck des Wassers *A* auf den Deckel in *n* so groß als in *d*. Denn, wenn man die Flüssigkeit in der krummen Röhre in ihrem tiefsten Durchschnitt *be* getheilt denkt, so hebt der Druck der einen Hälfte den Druck der andern auf. So muss denn auch die Elasticität in *d* und *n* wechselseitig gleich seyn, nämlich die dem ganzen Drucke in *A* zukommende. Wenn man nun die Mündung *n* öffnete und einen Stab *nm* von gleichem Durchmesser *n*, von gleicher Höhe als *fd* (der Höhe des Wassers über *d*), und von gleichem specifischen Gewichte als das Wasser in *A*, senkrecht aufstellte, so würde dieser Stab dem Drucke des Wassercylinders *df* das Gleichgewicht halten und seine Lage behaupten.

Nun setzen wir voraus, dass, wenn der Stab  $nm$  abgenommen wird, weder die Reibung in der Mündung  $n$  und in der Röhre  $dn$ , noch der Widerstand der Luft sich der Ausströmung aus  $n$  entgegenstelle, und wir behaupten, dass der Ausfluss aus  $n$  vollkommen so stark seyn werde, als in  $d$  mit weggenommener Röhre  $dn$ , weil die beiden Elasticitäten in  $d$  und  $n$  gleich sind. Nun denken wir uns in der Mündung  $n$  zwei unendlich dünne Schichten der Flüssigkeit  $a$  und  $c$  über einander. Da die Schicht  $c$  keine Bewegung nach unten erzeugen kann, weil ein gleicher Gegendruck entgegenwirkt, so äuert sich die ganze Elasticitäts-Wirkung auf die Schicht  $a$ . Sobald aber diese aus der Röhre getreten ist, tritt die Schicht  $c$  an ihre Stelle und wird eben so wie  $a$  ausgetrieben. So müssen denn (wenn das Gefäß  $A$  immer gleich voll erhalten wird) die herausgetriebenen Schichten bald einen Wasserstab bilden, dessen Druck dem Drucke des Wassers in  $d$  das Gleichgewicht halten wird, das heisst die Höhe  $nm$  haben muss. Da nun dieses Aufsteigen der Schichten eine Bewegung, sogar in entgegengesetzter Wirkung der Schwere, ist, so kann nur die Elasticität der Flüssigkeit dieses Aufsteigen bewirken. Ist nun die Höhe  $nm = df$  erreicht, so kann sie nicht mehr überschritten werden, und die Flüssigkeit muss als schwere Masse von allen Seiten abfließen.

Es verhält sich aber im Versuche die Sache etwas anders; die Höhe  $nm$  wird nie erreicht, aus folgenden Ursachen: 1) Das Wasser fliesst nicht in die Mündung  $d$  in geraden verticalen Richtungen, sondern in unzähligen krummen Linien wie Fig. 2, Taf. I zeigt, wodurch eine Entgegenseitung und also ein Verlust an Kräften und Bewegungen entsteht. 2) Die Reibung in der ganzen Röhre  $dn$  erzeugt eine neue Retardation. 3) Der Widerstand der Luft außerhalb der Mündung stellt sich dem Aufsteigen des Wasserstrahls entgegen. Der erste dieser Verluste ist so groß, dass man behaupt-

ten kann, dass, wenn man das Wasser aus einer Seitenöffnung in eine Röhre von bedeutendem Durchmesser, und daraus wieder durch eine eben so kleine Öffnung, als die im Gefäse in eine andere gleich große fließen ließe, und so fort durch mehrere solche Abwechslungen, der Ausfluss sehr unbedeutend werden müfste. Nimmt man z. B. an, dass der Ausfluss aus dem Gefäse, in so fern er nur durch die Entgegnung der Kräfte vermindert wird, 70 pCt. ausmache, so würde der wirkliche Ausfluss aus der sechsten Röhre nicht ganz  $\frac{1}{2}$  betragen. Der Widerstand der Luft zeigt sich im Springbrunnen dem bloßen Auge dar. Bis zu einer gewissen Höhe (die von der Höhe des Niveau's abhängt) ist der Strahl voll und durchsichtig. Ueber derselben aber erweitert sich der Strahl und erscheint milchig durch Vermischung mit der Luft, je höher, desto mehr, bis endlich er sich förmlich in Tropfen vertheilt, welche die schöne Garbe bilden, die das Auge so angenehm ergötzt <sup>1)</sup>).

Wir wenden jetzt unsere Betrachtungen auf die Phänomene der hydraulischen Sprungcylinder und Sprungkegel. Ich werde nur die Haupt-Versuche beschreiben.

1) Wenn man eine cylindrische Röhre *A* von glattem verzinnten Bleche nimmt, von 12 Zoll Höhe und  $2\frac{1}{2}$  Durchmesser, mit einem Boden, in dessen Mitte ein Loch von 6 Linien Durchmesser (Fig. 5, Taf. I), das man mit dem Daumen schließt, sich befindet, und den Cylinder in senkrechter Richtung in einen mit Wasser gefüllten Eimer langsam taucht, bis dessen Boden ganz nahe dem Niveau des Wassers im Eimer ist — und nun den Daumen schnell wegnimmt, so steigt das Wasser in den Cylinder, indem es die Luft durch die nun freie Öffnung schnell austreibt. Ist nun das Wasser bis an

1) Das bekannte Gebläse, mittelst welchem man durch einen Wasserfall in einer Röhre Luft herunterzieht und in einem Kasten condensirt, um als Gebäuße in eine Esse zu fahren, ist ein ähnliches Phänomen in entgegengesetzter Richtung.

den Boden gekommen, so erhält dieser einen Stoß und es stürzt ein verticaler, aber momentaner Strahl von etwas mehr als 9 Fuß Höhe senkrecht heraus. Für andere Dimensionen ist natürlich die Sprunghöhe verschieden.

2) Wenn man einen abgekürzten Kegel *B* (Fig. 6, Taf. I) von 12 Zoll Höhe,  $2\frac{1}{2}$  unterem Durchmesser und von 6 Linien oberem Durchmesser, und den Versuch ganz so anstellt wie den vorigen, so erreicht der Strahl auch etwas mehr als 9 Fuß, also die Höhe wie im vorigen Versuche.

3) Wenn man einen Kegel *C* (Fig. 7) von  $11\frac{1}{2}$  Zoll Höhe,  $2\frac{1}{2}$  unterem und 1 Zoll  $4\frac{1}{2}$  Linien oberem Durchmesser nimmt, auf welchem man einen andern Kegel *aa* auflöthet, dessen oberer Durchmesser 6 Linien groß ist, und dessen Durchschnitt die Figur *P* hat, und man den Versuch damit wie die vorhergehenden anstellt, so steigt der Strahl bis ungefähr 15 Fuß hoch.

Ich habe einen ähnlichen Versuch (auf einem gefrorenen kleinen Teiche) angestellt mit einer Röhre von 3 Fuß Höhe,  $7\frac{1}{2}$  Zoll unterm Durchmesser und 1 Zoll oberstem Durchmesser. Die Sprunghöhe betrug ungefähr 30 Fuß.

Diese drei und alle ähnliche Versuche lassen sich nur aus der Elasticitäts-Theorie erklären, denn es ist schon unmöglich, daß eine nicht elastische Flüssigkeit (wenn es eine gäbe) in eine dieser Röhren aufsteige, und noch weniger, daß sie eine beschleunigte Geschwindigkeit erhalte, welche einen Theil derselben mehrere Fuß hoch über die Mündung zu steigen zwinge. Aber mit der Annahme der Elasticität erklären sich diese Versuche sehr leicht, wie folgt:

Das *in dem Cylinder* mit der einer Höhe von einem Fuß zukommenden Geschwindigkeit <sup>1)</sup> steigende Wasser stößt

1) Man möchte vielleicht einwenden, daß, da das Wasser (um  $4\frac{1}{2}$  Linien) in dem Cylinder steigt, diese Schicht dem 12 zölligen Drucke

an den Deckel, wodurch die Elasticität eine Rückwirkung erzeugt, welcher die ganze unterhalb befindliche Wassermasse durch ihre Beharrlichkeit widersteht. So muss sie sich denn auf eine gewisse Portion des Wassers nahe an der Oeffnung äussern. So haben wir denn eine grosse elastische Masse, die ihre Wirkung auf eine viel kleinere äussern, und ihr also eine weit grössere Geschwindigkeit mittheilen muss, als sie selbst hat, wie es der Fall ist, wenn an einer Percussionsmaschine eine grosse elastische Kugel eine kleinere stößt.

Im zweiten Versuche wird der accelerirte Strahl auf eine andere Art erzeugt, nämlich durch die Kegelform. Da nämlich jede aufsteigende Wasserschicht in einen immer kleineren Kreis kommt, so muss sie immer an Höhe gewinnen, und zwar dadurch, dass die unteren Schichten, die selbst im Steigen begriffen sind, den Rücktritt der oberen nicht nur hindern, sondern auch als kleinere Massen ihre Steiggeschwindigkeit erhöhen, und zwar nach Verhältniss des Quadrats der Durchmesser. Nach den angestellten Versuchen scheinen die Accelerationen in beiden Versuchen gleich zu seyn, — eine Gleichheit, die zu interessanten Berechnungen Anlass geben könnte, welche aber nicht Gegenstand dieser Abhandlung seyn können.

Im dritten Versuche sind beide Wirkungsarten vereint und folgen auf einander. Die des zweiten Versuches müfste eine Sprunghöhe erzeugen, die zwar viel kleiner

entzogen ist, wenigstens um diese  $4\frac{1}{2}$  Linien, aber mit Unrecht. Denn diese Schicht ist durch die erhöhte Elasticität der eingeschlossenen Luft comprimirt und besitzt also einen Zusatz zu ihrer natürlichen Elasticität unter dem gewöhnlichen atmosphärischen Drucke, der dem Ueberschusse der Elasticität der eingeschlossenen Luft entspricht. Sobald also die Luft durch die Ausflusstmündung entweicht, wird der Ueberschuss der Elasticität dieser Wasserschicht thätig, deren Wirkung darin besteht, ihr die zukommende Steiggeschwindigkeit zu ertheilen, wie es bei Gelegenheit der Bildung des Strahls in Fig. 4, Taf. I gezeigt worden.

wäre als die dieses dritten Versuches, aber eine in demselben Verhältniss (nahe zu 1:7) grössere Masse austossen würde, wenn der Kegel den Ansatz *P* nicht hätte. Es stößt aber diese Masse gegen die viel schieferen und zur Erzeugung eines geraden zusammenhängenden Strahls sehr vortheilhaften Wände des Ansatzes, wodurch der Strahl so weit verengt wird als in den früheren Versuchen, und also vermöge des Anstoßes zuletzt eine grössere Strahlhöhe entstehen muss.

Um mich zu versichern, dass beide Wirkungsarten hier wirklich stattfinden, habe ich denselben Kegel *C* (Fig. 7, Taf. I) mit offener Mündung *aa*, mit einer mäfsigen Geschwindigkeit in's Wasser gesenkt und sah zwei auf einander folgende Strahlen entstehen<sup>1)</sup>.

Diese sämmtlichen Versuche, wie noch mehrere, die man, zum Beispiel mit Ansatzröhren, anstellen könnte, liefern neue unwiderlegbare Beweise unserer Theorie. Ja, sie können an und für sich als strenge Experimental-Beweise für die Elasticität der tropfbaren Flüssigkeiten gelten und machen die übrigen, als die von Canton, Abich und Andern, die ohnehin so schwer mit hinlänglicher Schärfe anzustellen sind, entbehrliech.

Hr. Prof. Munke hat im neubearbeiteten Gehler'schen physikalischen Wörterbuche, Bd. 8, der hydraulischen Sprungkegel ausführlich erwähnt, dabei aber, gleich zu Anfange, S. 979, geäufsert, dass zur Erklärung dieser Phänomene es nicht nöthig sey, die Elasticität der tropfbaren Flüssigkeiten zum Grunde zu legen. Dies ist ganz richtig, wenn man, wie dieser gelehrte Physiker thut, die Massen als mit den ihnen zukommenden Quantitäten der Bewegung begabt voraussetzt; welches aber nicht geschehen darf, ehe man den Torricellischen Satz erwiesen hat. Meine Absicht aber ist, dessen strengen Beweis zu liefern, den man nie früher geliefert hatte, den ich aber

1) Eine zu rasche Senkung vereinigt beide Strahlen in Einen, eine zu langsame lässt nur den zweiten zu.

jetzt in strengerer Form als in meiner *theoretischen Physik*, 1809, durchgeführt zu haben glaube. Sollten aber die Sprungcylinder und Sprungkegel dazu beitragen, indem sie sich nur mittelst der Elasticität erklären lassen, so müfste ich *ab ovo* ausgehen und dieses beweisen. Sollten wir einst unelastische Flüssigkeiten entdecken, so wäre der Sprungkegel, diese so einfache Vorrichtung, geeignet, um sie zu entdecken. Dahin aber gehören nicht diejenigen, als Syrupe, Theer etc., welche zu deren Wasser oder Oelen viele nur mechanisch beigemischte concrete Substanzen enthalten, oder wirkliche Auflösungen von vielem Zucker, Gummi, deren Zähigkeit die Bewegungen überhaupt erschwert.

Nachdem wir die Wege kennen gelernt haben, welche das Wasser durchläuft, um zu der Ausflusmündung zu gelangen, so wie auch die durch den Druck entstehende Elasticität, die Acceleration erzeugt, unterliegt das Phänomen der *zusammengezogenen Wasserader* keiner Schwierigkeit. Alle Hydrodynamiker seit Newton haben sie (die Reibung und den Widerstand der Luft abgerechnet) von den schiefen Richtungen und Entgegensetzungen abgeleitet, unter welchen das Wasser sich der Mündung nähert, diese von ihnen angenommenen krummlinigen Bewegungen mögen die wahren oder nur eingebildete seyn. Vorzüglich hat Bossut sich bemüht, durch seine Versuche, mit und ohne Ansatzröhren, die Gröfse des durch jene Entgegensetzungen entstehenden Verlustes auszumitteln. Es sind auch seine Resultate bis jetzt, so viel mir bekannt ist, als richtig angesehen worden. Daher ich das oft Gesagte nicht wiederholen will. Dasselbe gilt von dem Ausflusse aus den Seitenöffnungen.

Es ist oben bewiesen worden, daß in den Gefäßen, wie *A*, *B*, *C* (Fig. 8, Taf. I), mit gleichen Grundflächen und Höhen, aber verschiedenen Vertical-Durchschnitten, der Satz der Gleichheit des Drucks auf der Grundfläche nicht aus dem blofsen Princip der Schwere zu erklären

sey. Es ist aber unsere Pflicht zu zeigen, dass dieser höchst wichtige Satz sich aus der *Schwere und Elasticität* streng beweisen lässt.

Es sey *A* (Fig. 9, Taf. I) ein cylindrisches, ganz geschlossenes Gefäß, auf welches eine Röhre *B* mit dem Gefäß *A* communicirend aufgesetzt ist, so wird die bis *aa* eingefüllte Flüssigkeit auf der Grundfläche *bc* des Gefäßes einen eben so großen Druck hervorbringen, als wenn die Röhre *daad* einen eben so großen Durchmesser als das Gefäß *A* hätte.

*Beweis.* Da der Druck einer schweren und elastischen Flüssigkeit nicht nur in der Richtung der Schwere, sondern in allen Richtungen gleich stark drückt (dies ist die Definition einer elastischen Flüssigkeit), so wird irgend eine Schicht *xx* derselben im Gefäß *A* eine Elasticität erhalten, die der Höhe *ax* entspricht. Folglich wird ihre Elasticität in den Richtungen *xy* und *xy* drücken und die ganze Schicht *yxxy* die der Höhe *ax* zukommende Elasticität erhalten, die also dem verticalen Drucke der Säule *ax* gleich ist. Dasselbe wird in allen horizontalen Schichten wie *y'x'x'y'* stattfinden. Da aber alle diese Elasticitäten auch nach unten mit gleicher Kraft drücken, so muss der Boden *bc* des Gefäßes in allen seinen Punkten mit derselben Kraft gedrückt werden als die dem Durchschnitt der Röhre *B* gleiche Grundfläche *mn*.

Kehrt man den Apparat um, setzt in *aa* einen Boden und nimmt den Boden *BC* weg, so beweiset eine ähnliche Schlussfolge, dass das Wasser in *A* nicht mehr und nicht weniger als auf den Boden *aa* drückt als die Säule *maan* allein drücken würde.

In meinem *Grundrisse der Physik der Erde und Geologie*, S. 385, habe ich die hohen Fluthen, welche an Untiefen, engen Buchten, Insel-Gruppen etc. stattfinden, aus der Theorie der Sprungkegel und Sprungcylinder erklärt, und die Beispiele der canarischen Inseln, der

Meerenge von Gibraltar, der Häfen von Cherbourg und St. Malo und der Mündung der Saverne in dieser Hinsicht genannt. Namentlich ist das Beispiel der Saverne sehr auffallend, da die Fluth daselbst um 54 Fuß steigt. Dafür aber hat die Natur einen *colossal*en Apparat dazu construirt. Das Gefäß ist das atlantische Meer; der erste Theil des Kegels ist der Canal von Bristol, dessen Basis zwischen dem Cap St. Gowers und dem Cap Hartland 45 englische Meilen breit und von da bis zur Insel Seilly 70 M. lang, wo er sich bis 10 M. Breite verengt, und dann den spitzigen Kegel bis zum Ausfluss der Saverne, mit der Basis 10 und der Länge 35 Meilen bildet. Hätte diese große Bucht nicht einen Nebenausfluss durch den Georges-Canal in das irländische Meer, und von da durch den Nord-Canal wieder in das atlantische Meer, so würde die Fluth in der Saverne ungleich höher seyn.

An jedem Ufer, welches eine *sprungkegelartige* Configuration hat, erzeugen Winde, die in der Richtung der Axe blasen, ähnliche Hebungen des Wassers. Hr. Prof. Munk führt im physikalischen Wörterbuche eine solche (wahrscheinlich das größte Phänomen dieser Art) an, welche bis an die Laterne des Leuchthurms *Sumbury head*, 300 Fuß hoch, steigt. Wir müssen übrigens solche Sprunghöhen überhaupt nicht allein der horizontalen Verengung der Buchten zuschreiben, sondern es liefert die allmäßige Erhöhung des Grundes einen guten Theil des Phänomens.

Diesem Gesetze des Sprungkegels verdankt, leider! Petersburg jährlich eine oder mehrere Ueberschwemmungen der niedrigsten Theile der Stadt, und namentlich auch die große Ueberschwemmung von 1825, welche so Vieles zerstörte und mehr als tausend Menschen das Leben kostete. Wie viel unheilbringender wäre sie gewesen, wenn nicht der finnische Meerbusen sich von Helsingfors an bis zum Ausflusse der Narowa erweiterte, sondern in seiner ganzen Länge seine Kegelgestalt behauptet!

Diese Theorie des Ausflusses der Flüssigkeit aus Bodenöffnungen, und vorzüglich der Satz, dass das Maximum der horizontalen Geschwindigkeiten sehr nahe am Boden stattfinde, habe ich in meiner Geologie mit Vortheil dazu angewandt, um den von allen andern Geologen (so viel ich weiss) nur postulirten Strömungen im Ur-Ocean den Ursprung anzuweisen, den Strömungen, welche durch ihre Gewalt so viele Thäler ausgewaschen, so viele Felsenkämme durchgebrochen, und ihre Trümmer, nebst denjenigen, welche durch gewaltige vulcanische Erschütterungen entstanden sind, als erratische Blöcke weit und breit verschleppt haben — ein Geschäft, welches man sonst und noch heut zu Tage den im Angesichte solcher Verheerungen zwergartig erscheinenden heutigen Flüssen aufbürden will.

**V. Ueber das Verhältniss der elektrischen Polarität zu Licht und Wärme;**  
**vom Dr. Neeff in Frankfurt a. M.**

(Mitgetheilt vom Hrn. Verfasser.)

**1.** Es giebt für alle Verhältnisse der Elektricität zu andern Naturkräften *ursprüngliche Thatsachen*, welche, wie in einer Knospe, einen ganzen Organismus enthalten. Von ihrer genauen Beobachtung ausgehend, entwickelt sich durch die Reihe der Einzelheiten die Erkenntniß des Ganzen. Eine solche z. B. war für die Lehre vom Elektrochemismus die Wasserzersetzung, als man an dem positiven Pol den Sauerstoff, am negativen den Wasserstoff auftreten sah. Ein solches Factum war es für den Elektromagnetismus, als Oersted die That-sache wahrnahm, dass der Magnet sich senkrecht auf den elektrischen Strom lagert, indem seine Polarität zu der

des Stroms in einem bestimmten Verhältnisse steht. Auch bei den andern Beziehungen der Elektricität muss die wissenschaftliche Untersuchung von solchen Fundamentalversuchen ausgehen, deren scharfe und methodische Beobachtung allein zu einer genügenden Ableitung und Entwicklung führt. Und so muss es auch für die Erregung des Lichts und der Wärme durch Elektricität Urphänomene geben, welche, wenn man die Complicationen eliminiert, einfach und klar die elementare Thatsache darstellen. — Bei einer Untersuchung über die Eigenthümlichkeiten der elektrischen Pole habe ich Erscheinungen beobachtet, welche mir diesen Charakter zu haben scheinen, und deren Entwicklung ich denen, welchen reichere Mittel zu Gebot stehen, hiermit zur Prüfung vorlege.

#### I. Ueber den Ursprung des elektrischen Lichts.

2. Man hält das elektrische Licht für ein Ausgleichsphänomen beider Elektricitäten, welches zwischen den Polen in schlechtleitenden Medien stattfinde. Ob eine oder zwei Elektricitäten selbst leuchten, ob das Licht ihnen als Flüssigkeiten zukomme, oder ob das elektrisierte Medium leuchte, so wie auch über die Frage, welchen Anteil die Wärme an dem Lichtphänomen habe, darüber herrschen weder hinreichend klare Vorstellungen, noch sind auf experimentalem Wege zulängliche Beobachtungen angestellt worden. Nur kommt man darin über ein, dass hier eine Bewegung des Leuchtenden stattfinde, welche man sich als eine Strömung in Einer Richtung oder in zwei entgegengesetzten vorstellt, als überschlagende Funken, an deren Licht beide Pole Anteil haben, und vorzugsweise der positive.

3. Die objectiven Ursachen dieser Unklarheit sind hauptsächlich die Flüchtigkeit des Phänomens, und die mitwirkende Wärme. Ist die leuchtende Entladung ein einzelner Blitz, so geschieht sie in einem so unermesslich kleinen Augenblick, dass sie nicht distinct gesehen

werden kann. Ist sie eine höchst rasche Aufeinanderfolge unzähliger Funken, wie z. B. im elektrischen Strahlenbüschel des Conductors, so bleibt die Polarität des leuchtenden Wesens unsicher; denn was hier leuchtet, kann entweder die ausströmende positive Elektricität, oder das durch Induction hier negativ elektrisierte Medium seyn, so wie umgekehrt am anderen Pol. Tritt endlich ein hoher Grad von Wärme hinzu, wie bei starken Leydner Flaschenschlägen oder bei den Verbrennungserscheinungen der Voltaischen Batterie, so erscheint das Lichtphänomen complicirt, und beinahe ganz als ein secundäres; man muß es glühenden Metall- oder Kohlentheilchen zuschreiben, fast so gewiss, als man das Licht des zwischen den Polen glühenden Platindrahts nur mittelbar der Elektricität, unmittelbar aber der Wärme zuschreiben muß. Dafs es aber ein primäres elektrisches Licht giebt, ein nicht durch die Wärme vermitteltes, so wie eine dunkle elektrische Wärme, ist gewiss. Viele Phänomene der Reibungselektricität zeigen ein solches höchst glänzendes elektrisches Licht mit einem Minimum von Wärme. Es ist nur schade, dafs man aus den erwähnten Gründen den Ursprung des Lichts hier wie dort nicht mit Erfolg studiren, und aus dem Chaos der Erscheinungen ausscheiden kann.

4. Es ist mir gelungen, auf einem anderen Wege dies zu erreichen. Bei der *Magnetelektricität* nämlich, — unter welchem Namen ich die durch entstehenden und verschwindenden Magnetismus hervorgerufene Elektricität begreife, nicht nur wenn die Erregung durch den permanenten Magnetismus des Stahlmagneten, sondern auch wenn sie durch den momentanen des Elektromagneten geschieht, — kann man unter günstigen Bedingungen das elektrische Licht frei von verwirrender Complication und sehr distinct sehen, kann es bis zu seinem Ursprung verfolgen und die Art seiner Polarität unzweideutig erkennen. Denn, da diese Elektricitätsquelle eine

höhere Intensität und geringere Quantität äusserst als die Voltakette, so giebt sie mehr primäres Licht und weniger Wärme als diese. Sie nähert sich mehr der Frictionselektricität, ist aber weniger oberflächlich und wirkt kräftiger chemisch als diese. Sie steht also in einer für solche Untersuchungen glücklichen Mitte zwischen den Extremen. Auch kann man beliebig sowohl ihre Intensität, als auch ihre Quantität schwächen und verstärken, je nachdem man zur Spirale einen längeren oder dickeren Draht wählt. Ihr Hauptvorzug ist aber, dass man die Polareffecte, welche beim Voltaischen Strom dem Experimentirenden unter der Hand verschwinden, indem sie sich schnell neutralisiren, bei ihr besser auseinander halten, und unvermischt zu einer bedeutenden Höhe steigern kann.

5. Ich bediente mich dazu meines *Magnetelektromotors* (Poggendorff's Ann., Bd. 46, S. 104), welcher auch hierzu der zweckmäsigste Apparat ist, indem er zum Her vorbringen sowohl einzelner magnetelektrischer Entladungen, als einer Reihe von zahllosen höchst rasch sich folgenden sich eignet; zudem ist die Entladungsstelle bleibend dieselbe, einer scharfen Beobachtung folglich bequem zugänglich. Die Constructionsart des Mechanismus war etwas abweichend von der a. a. O. beschriebenen, namentlich darin verschieden, dass das Lichtphänomen nicht, wie dort, von einer abgestumpften Spitze verdeckt wird. Es war nämlich die, deren sich der Mechanicus Desaga in Heidelberg bei diesem Apparat bedient: der Hammer ist mit einem Platinplättchen bedeckt, und senkrecht auf dessen Ebene berührt er die conische Spitze eines Platindrahts, der mit dem Ambosse verbunden ist. So hat man den Vortheil, die Lichterscheinung überall unverdeckt zu sehen, und sie eben so gut an einer Ebene, als an einem conischen Körper beobachten und messen zu können. Als Erreger ist die a. a. O. beschriebene Batterie am zweckmäsigsten. Eine einfache Kette reicht

meistens hin. Bei Wirkungsabnahme, oder wenn man stärkere Effecte beabsichtigt, kann man 2, 3, 4 Plattenpaare ungleichnamig verbinden. Bei einer so mäfsigen Quelle sind alle Effecte bloß magnetelektrische; selbst permanente Schließung erregt eben so wenig ein Glühen der Platindrahtspitze, als eine schnelle Folge unterbrochener Contacte.

6. Es ist bekannt, daß bei diesem Apparate, wenn er vibrirt, zwischen dem Hammer und dem Ambosse bei jeder Oeffnung der Kette ein sogenannter Funke erscheint, und daß diese *Lichterscheinung* bei den schnell sich wiederholenden Trennungen eine scheinbar ständige wird. Irriger Weise hält man sie für wirkliche (von Pol zu Pol überspringende) Funken, oder schreibt sie (wie früher ich selbst a. a. O.) immer einer Metallverbrennung zu. Erst bei sehr starker Elektricität entsteht Verbrennung; bei so schwacher Quantität und vorherrschender Spannung ist die Lichterscheinung nur mit einem Minimum von Wärme verbunden. Schon das bloße Auge sieht sie bei gedämpfter Tageshelle als ein violettes Licht; die Stromrichtung möge nun vom Hammer zum Ambosse oder umgekehrt gehen. Aber sie ist überaus klein; und dies brachte mich auf den Gedanken, mit dem *Mikroskop* sie zu untersuchen.

7. Man beobachte also mit bewaffnetem Auge, und sogleich wird man sehen, *dafs das Lichtphänomen immer am negativen Pol erscheint*, d. h. daß die Platin spitze des Ambosses leuchtet, wenn der Strom vom Hammer zum Ambosse geht, und die Platinfläche des Hammers, wenn die umgekehrte Richtung stattfindet. Bekanntlich geht die Magnetelektricität beim Oeffnen der Kette in derselben Richtung wie der primäre Strom; auch zersetzt sie z. B. das Wasser in demselben Sinn, entwickelt Sauerstoff an der vom Kupfer der Kette herkommenden Elektrode, und Wasserstoff an der zum Zink führenden. Dafs also die letztere der negative Pol ist, kann keinen Zweif-

fel erleiden. Ueberdiess kann man die Nachweisung *Gassiot's* (Ann., Bd. 65, S. 479) vergleichen.

8. Schon mit einer fünfmal vergrößernden Loupe entdeckte ich dieses Fundamentalphänomen. Schon so fällt es unzweideutig in's Auge, aber die genaue *Unterscheidung des Details* fordert stärkere Vergrößerung. Am vortheilhaftesten fand ich die 25- und die 50fache eines Plößl'schen Mikroskops, zu welchem ich mir ein Horizontalstativ machen ließ. Sie erlauben eine 1½zöllige Entfernung des Objectivs vom Gegenstand. Mit der 66fachen sieht man nicht mehr, als bei jenen, und das Bild ist weniger nett. Uebrigens ist auch hier keine starke Verdunklung des Sehfeldes nöthig, und eher nachtheilig; die Spitze z. B., wenn sie leuchtet, spiegelt sich dann in der Fläche.

9. Mit dieser Bewaffnung nun unterscheidet das Auge deutlich, dass das Licht von zwei verschiedenen Quellen kommt. Die erste besteht aus blendend *weißen Pünktchen* vom lebhaftesten Glanze, aber unmöglich klein, so dass selbst bei 66facher Vergrößerung kein wirklicher Durchmesser zu unterscheiden ist, so wenig wie bei Fixsternen auch durch das stärkste Fernrohr. Diese Pünktchen sitzen am Platin fest, sey nun die Ebene des Hammers oder die conische Spitze des Ambosses negativer Pol. Niemals erscheinen sie frei in der dünnen Lichthülle, von welcher nachher die Rede seyn soll, oder gar außer ihr in der Luft. Sie erscheinen bald hier, bald da, beim Wechsel der Schläge. Sie sind am häufigsten am Extrem des Pol., also an der Contactstelle, an der Spitze des Lichtkegels beim Amboss, in der Mitte der Lichtscheibe beim Hammer. Diese Lichtpunkte sind höchst feine Spitzen der rauen Oberfläche, welche als solche concentrirtes Licht ausstrahlen, was man bei der Reibungselektricität *Spitzenlicht* nennt; bei einer vollkommen polirten Nadel erscheint es daher nirgend als an der äußersten Spitze.

10. Die andere Lichtquelle will ich *Flamme* nennen, weil sie einer schwach leuchtenden, stäten, violetten Flamme gleicht, und weil auch Anderes, wovon unten, dazu berechtigt. Erscheint sie am Amboßse, so umgibt sie die Platinspitze als leuchtende Hülle. Bei mittlerer Gröfse sah ich sie 0,5<sup>mm</sup> lang und 0,04<sup>mm</sup> bis 0,05<sup>mm</sup> dick. Tritt sie aber am Hammer auf, so liegt sie horizontal auf dessen Ebene, eine Scheibe von gleichfalls  $\frac{1}{2}$  Millim. Durchmesser und  $\frac{1}{25}$  bis  $\frac{1}{16}$  Millim. Dicke bildend.

11. Dafs das sichtbare Gesammtphänomen vom negativen Pol herröhrt, und ihn mit bedeutender Verbreitung umleuchtet, ist ganz unverkennbar. Die Möglichkeit ist nicht zu leugnen, dafs auch am positiven Pol ein schwächeres Leuchten seyn könne; nur kann man es nicht sehen, weil er eintaucht in die Lichtsphäre des negativen; dagegen giebt es eben kein Mittel, und nur die Analogie mit der Frictionselektricität kann zur Vermuthung einigen Anlaß geben.

12. Bisher setzten wir immer die Beobachtung am vibirenden Magnetelektromotor voraus, und wirklich lernt man das prachtvolle Phänomen so am besten kennen. Es ist hier so stät, dafs man es Viertelstunden lang bequem betrachten und messen kann. Aber so gleichförmig auch bei mäfsiger Intensität die Flamme bleibt, so unstät sind hier die weissglänzenden Punkte; sie erscheinen in wimbelnder Bewegung. Erwägt man, dafs, was man scheinbar stät sieht, eine höchst rasche Succession unzähliger Blitze ist, so erkennt man leicht, dafs diese Bewegung eine optische Täuschung ist, herrührend von der Vielheit der Punkte, von denen bald dieser, bald jener aufleuchtet. Es ist daher nöthig, dafs man auch *einzelne Blitze* beobachte; welches leicht zu bewerkstelligen ist, wenn man den Hammer nicht dem Spiel der Maschine überläßt, sondern mit der Hand lenkt. Wem der erwähnte Apparat nicht zu Gebot steht, bedarf nur einer einfachen

Voltakette, einer Spirale und einer etwa 12fach vergrößernden Loupe, um sowohl das Polarphänomen, als das beschriebene Detail in einzelnen Blitzen deutlich zu sehen. Man sieht nämlich die Flamme und die weißen Pünktchen zugleich aufblitzen; aber diese sind fix, sie bewegen sich nach keiner Richtung, es sind keine „Funkens.“

13. Wir lernen die Erscheinung noch besser kennen, wenn wir die bisher angenommene magnetelektrische Intensität allmälig schwächen. Man kann dies am besten durch den Moderator (Poggend. Annal., Bd. 50, S. 236) bewirken. Man bringt nämlich einen mit Wasser gefüllten Glascylinder zwischen die magnetoelektrischen Pole, und senkt den einen derselben immer tiefer in das Wasser. Das Licht wird dadurch immer schwächer, bis es ganz verschwindet. Hierbei verkleinert sich die violette Flamme und wird zugleich dünner und daher matter leuchtend. Die Spitzenlichter aber (die weisglänzenden Pünktchen) vermindern sich in der Zahl, und kommen zuletzt nur an dem Contactpunkte vor, bis sie auch hier verschwinden. Hebt man die eine Elektrode am Moderator allmälig wieder herauf, so sieht man beide Lichter wieder anwachsen. Wenn man die Lichtquellen so verringert hat, dass nur noch einige Spitzenlichter erscheinen, so kann man von der violetten Flamme nichts mehr wahrnehmen. Je kleiner daher das Lichtphänomen, desto weißer, je größer, desto violetter erscheint es. Es fragt sich nun, ob die Flamme wirklich ganz verschwindet, während die weißen Punkte noch leuchten, so dass jene nur bei einer höheren Stärke der Magnetoelectricität stattfindet; oder ob sie dann nur dem Auge nicht erkennbar ist. Für letzteres spricht, dass ihr Licht an sich schon weit weniger intensiv ist, als das concentrirte der weißen Punkte, und dass es durch die Dünne der leuchtenden Schicht, die nur den zehnten Theil des Durchmessers derselben beträgt, wenn diese Größen auf ein Minimum reducirt werden, wohl unsichtbar werden kann, ohne

wirklich verschwunden zu seyn. Ob die Flamme daher den Lichtpunktchen zu coordiniren, oder ob diese primär, jene nur secundär seyen, wage ich nicht zu entscheiden.

14. Eine andere Art von Schwächung bot ein lehrreicher Versuch dar. Ich vertheilte nämlich das Lichtphänomen, indem ich auf den Hammer eines zweiten Magnetelektrometers eine sehr feine Stahlnadel („Perlenadel“) befestigte und ihre Spitze auf der Platinfläche des ihr gegenüberstehenden Ambosses hämmern ließ; es war also die umgekehrte Construction von der des ersten. Die magnetoelektrischen Pole des ersten Apparats, von denen sich ein Theil der Entladung ableiten läßt, wurden mit Hammer und Amboss des zweiten in leitende Verbindung gesetzt. Während nun der erste vibrirte, wurde auch die Nadel des zweiten in Oscillationen versetzt, wodurch sie mit dem höchst nahen Amboss in häufige Berührung kam, und so das abgeleitete Lichtphänomen zeigte. Da die Stahlnadel weit feiner als die Platin spitze des primären Apparats war, so entzog sie dieser nur einen sehr kleinen Theil der Elektricität; daher war ihr Licht auch weit schwächer. Aber durch 25fache Vergrößerung konnte ich deutlich wahrnehmen, daß, wenn sie negativ war, nur an ihrer äußersten Spitze, und nur ein Lichtpunkt erschien: eine Folge der Politur, wie schon oben erwähnt. Die Flamme war wieder violett; also machte die Verschiedenheit des Metalls, an dem sie auftrat, in der Farbe hier keinen Unterschied. Dabei war sie länger als die an der Platin spitze, aber von viel matterem Licht; häufig war sie gar nicht sichtbar. Blitzte sie auf, so sah das Ganze wie ein Komet aus. Auch am Amboss, wenn er negativ war und leuchtete, sah ich sehr selten die Flamme, sondern nur eine von zahllosen weißen Lichtpunktchen schimmernde Scheibe; eine Folge der schwachen Elektricität.

15. Bringt man ein Tröpfchen Wassers oder wasser-

haltigen Weingeists zwischen Hammer und Amboss, so arbeitet der Mechanismus zwar vibrirend fort, allein man sieht bei schwacher Erregung wohl die Gasentwicklung des zersetzen Wassers, aber kein Licht. Erst bei starker Elektricität sieht man das Licht auch unter Wasser. Wartet man die allmäliche Verdunstung ab, so erscheinen zunächst weisse Lichtpunktchen, dann die Flamme. Man kann diesen Embryonalzustand des elektrischen Lichts nicht schöner sehen.

16. Aber nicht minder lehrreich als die Schwächung des Phänomens ist dessen *Verstärkung*. Um diese zu bewirken, muß man sich einer kräftigeren Kette bedienen, doch einer solchen, bei der keine Elektrode glühend werden kann, da wir hier immer noch das primäre Licht untersuchen. Zwei bis drei Ketten, ungleichnamig verbunden, wirken sehr gut. Der Effect ist, daß die Spitzenlichter reichlicher, die Flamme größer wird. Aber nun erscheinen auch weifsleuchtende Stellen von merklichem Durchmesser am Platin. Und die Flamme ist nicht eine ruhige Lichthülle, sondern sprüht oft bedeutend über ihre Gränze hinaus, manchmal mit rother Farbe; unter dem Mikroscop ein wahrer Lichtvulcan. Nun sieht man auch zuweilen ächte Fünkchen, d. h. höchst kleine leuchtende Punkte, welche von der leuchtenden Elektrode auswärts sprühen, so daß sie außerhalb der Flamme sichtbar werden und erlöschen; aber sie nehmen ihre Richtung nicht entschieden nach der dunkelen Elektrode, es sind keine überschlagende Funken.

17. Geht man beträchtlich weiter mit Verstärkung der erregenden Elektricität, so ist es nicht mehr zu vermeiden, daß die Wärme, die sie erregt, bis zum *Glühen* steigt. Dann hat man es nicht mehr mit dem primären Licht allein zu thun; das Licht des Glühens und Verbrennens ist wesentlich ein anderes, von der Elektricität nicht direct abhängiges; und beide Lichtarten vermischen sich so, daß es mir noch nicht gelungen ist sie hinreichend

zu unterscheiden. Doch wird von einzelnen Erscheinungen, die hierher gehören, noch die Rede seyn, so wie auch von manchem Anderen, was die Erregung des Lichts durch Elektricität betrifft, das aber erst später sein volles Verständniß findet.

## II. Ueber den Ursprung der elektrischen Wärme.

18. Die Erscheinung, daß das Licht ausschließlich am negativen Pol entspringt, rief die Frage hervor, welche Thätigkeit wohl *am lichtlosen positiven Pol* ihr entspreche. Ich vermuthe, daß die *Wärme* diese Function sey. Es ist bekannt, daß die elektromotorische Kraft, von ihren ersten leisen Regungen an, im Conflict mit dem Leitungswiderstände des Metalls Wärme erzeugt; ihre höchste Entwicklungsstufe ist das Feuer. Diese Wärmeentwicklung findet sowohl bei dem Schlag der Leydner Flasche und der permanenten Leitung des Voltaischen Schließungsdräts statt, als bei der unterbrochenen der Magnetelektricität, beim Durchströmen sowohl guter als schlechter Leiter. Aber bei der Schließung durch Metalle kann man die Eigenthümlichkeiten der Pole, namentlich in Bezug auf Wärmeentwicklung, nicht unterscheiden, weil sie sich im Leiter vollständig neutralisiren. Es giebt für die Darstellung der Polareffecte nur drei Wege: erstens die Magnetelektricität; zweitens den Feuerstrom, der zwischen den Elektroden mächtiger Batterien in Distanz überschlägt; und drittens die Wasserzersetzung durch sehr kräftige Säulen. Diese alle gestatten eine starke Erregung, während sie dennoch einen Ueberschuß freier Polarkräfte in ihrem Gegensatze scharf auseinander halten.

19. (Erster Weg.) Aufmerksam auf die Erscheinungen am positiven Pol des Magnetelektromotors, nahm ich bei einem schon oben (14.) erwähnten Versuch ein Phänomen wahr, welches meine Ansicht, daß die Anode der Wärmequell sey, wie die Kathode der Lichtquell, bestätigte. Wie die feine Stahlnadel unter dem Einflusse

schwacher Elektricität sich als leuchtende Kathode verhielt, habe ich dort erzählt. Aber beim Wiederholen dieses Versuchs sah ich zuweilen, bei etwas stärkerer Elektricität, vor dem Mikroskop die Nadelspitze, als sie Anode, folglich lichtlos war, und ihr gegenüber der negative Amboss leuchtete, plötzlich rothglühend werden. War sie negativ, so geschah dies niemals. Dieser Versuch kann nur mit einer so äußerst feinen Spalte gelingen, die selbst bei schwacher Elektricität leicht in's Glühen geräth, und der gegenüberstehenden Metallfläche die Gluth nicht verwirrend mittheilen kann. Denn wenn die Elektroden gleiche Masse haben, so wird vermöge der Wärmeleitung die Glühhitze der positiven auf die leuchtende negative fortgepflanzt. Auch misstigt der Versuch, wenn der rechte Grad elektrischer Intensität nicht getroffen wird.

20. (Zweiter Weg.) Walker hat mit seiner mächtigen Batterie von 160 Daniell'schen Zellen folgenden Versuch angestellt. (*Transact. of the Lond. electr. soc.*, p. 65, 71. — *Poggend. Ann.*, Bd. 55, S. 62.) Er legte die Polardrähte kreuzweise, doch so, daß sie sich nicht berührten, sondern noch einen kleinen Zwischenraum zwischen sich ließen. Sogleich ging ein glänzender Lichtstrom continuirlich durch die dünne Luftsicht; und dabei zeigte sich die auffallende Erscheinung, daß der positive Draht von dem Kreuzpunkt ab bis zu seinem freien Ende (also selbst außerhalb der Stromleitung) rothglühend wurde, erweichte, und sich umbog; während der negative Draht verhältnismäßig kalt blieb.

21. (Dritter Weg.) Walker tauchte die Polardrähte in zwei Wassergefäße, worin Thermometer standen; die Verbindung beider Wasser geschah durch einen capillaren Docht. Das, worin der positive Draht tauchte, zeigte immer eine höhere Temperatur als das andere.

22. In jeder Weise also bestätigt sich der *Ursprung der elektrischen Wärme am positiven Pol.* Diese Ver-

suche zu vervielfältigen, und unter abgeänderten Umständen zu wiederholen, so wie in anderen bekannten Thatsachen dasselbe Naturgesetz nachzuweisen, bleibt fortwährend Aufgabe der Untersuchung.

23. Es ist bekannt, dass die elektrische Wärme, die ja selbst nichts anders ist, als eine partielle Lösung der Cohäsion, von einer mechanischen Wirkung der Elektricität begleitet wird, welche eine directe Aufhebung des Zusammenhangs bewirkt, von der bloßen Auflöckerung an bis zur Zersprengung und Zerstäubung. So eben (in Pogg. Ann., Bd. 65, S. 481) ist hierüber eine treffliche Untersuchung von Rieß erschienen, worin er die gleichzeitig thermischen und mechanischen Wirkungen der Elektricität auf den metallischen Leiter, von der leisensten Erregung an bis zum heftigsten Schlag, so beschreibt: der Draht wird warm, er wird erschüttert, er erhält Einbiegungen, er glüht, er reißt von seinen Befestigungen ab, er zersplittet, er schmilzt, er zerstäubt.

24. Nun diese *Trennung des Zusammenhangs*, dieser mechanische Effect, der mit dem thermischen so innig verbunden ist, tritt gleichfalls da auf, wo dieser stattfindet, — *an der Anode*, und ist Function der positiven Polarität.

25. Von dieser Thatsache hat schon die Technik Gebrauch gemacht, und zwar auf magnetelektrischem Wege. Pring nämlich (Dingler's polyt. Journ., Bd. 90, S. 181) radirte auf einer gehärteten Stahlplatte, indem er diese mit dem positiven Pol einer Voltasäule verband, eine Drahtspirale in die Kette brachte, und mit einer Radirnadel aus Platin, die mit dem negativen Pol verbunden war, den Contact bewirkte. Stahltheilchen springen bei jeder Aufhebung der Berührung aus der Platte. Wurden die Pole umgekehrt, so war der Funke mit Absetzung von Theilchen der Nadel auf die Stahlplatte begleitet.

26. Deutlicher noch, und im größten Maafsstab, sieht man dieses Phänomen der Zerstäubung und Gluth

im Feuerstrom zwischen Kohlen-Elektroden am positiven Pol hervortreten. Seit **Davy** mit seiner *colossal*en Batterie von 1250 Paaren diesen Feuerstrom von 4 Zollen Länge, und in verdünnter Luft von 6 Zollen, darstellte, bestätigten wiederholte Versuche, selbst in kleinerem Maafsstab, das derselbe den höchsten darstellbaren Grad von Licht und Wärme hervorruft. Dabei sah man constant, dass die positive Kohle an ihrer Spitze zerstäubt wird, und die glühenden Kohlentheilchen mit dem Strom hinübergeführt werden zum negativen Pol, so dass an der Anode eine Vertiefung, an der Kathode ein Auswuchs angehäufter Kohlentheilchen entsteht. An der Anode ist die Gluth und das secundäre Licht extensiv und intensiv am stärksten. (Fizeau und Foucault in den *Ann. de Chim. et de Phys.*, *Sér. III, T. XI.* — Poggend. *Ann.*, Bd. 63, S. 469.)

27. Weit leichter noch, als die Kohle, verdampft, zerstäubt und brennt das flüssige Quecksilber. Bringt man ein Tröpfchen zwischen die Pole des Magnetelektrometers, so sieht man, selbst bei schwacher Elektricität, bei jeder Trennung der Elektroden blendend weisses Licht und aufsteigenden Quecksilberdampf, und zwar bei jeder Richtung der Elektricität. Selten gelingt es hier, durch das Mikroskop das Leuchten der Kathode zu unterscheiden, weil theils Quecksilbertheilchen sich an die gegenüberstehende Elektrode anhängen, theils der Dampf glüht und secundäres Licht giebt, welches mit der Gluth sich auf den andern Pol fortpflanzt. Es ist daher zur Untersuchung der Polarphänoe diese schöne Erscheinung wenig brauchbar. In dieser Beziehung sind Versuche mit festen Metallen, wie der erwähnte von **Walker** (20.) weit instructiver.

28. Wie nun die positive Elektricität zerstäubt und verflüchtigt, so wirkt die negative Elektricität *gestaltend und verdichtend*. Die amorphe Kohle, an der Anode zerstäubt und glühend zur Kathode hinübergeführt, verdich-

tet sich hier zu specifisch schwererem, der Krystallisation fähigem Graphit. Die Rudsedriten, welche sich beim Durchströmen einer Flamme bei starken Batterien an die Kathode anlegen, gehören gleichfalls hierher. Vielleicht auch das Krystallisationslicht, welches manchen Körpern eigen ist, als Symptom negativer Elektricität. Auch in der hydroelektrischen Kette wird an der Anode der Zusammenhang des Metalls durch Oxydation aufgehoben, an der Kathode wieder hergestellt und in Krystallvegetation gestaltet. Die positive Elektricität ergreift den Leiter mit ihrer erhitzenden und zersprengenden Gewalt in der Tiefe seiner Substanz; die negative wirkt leuchtend und gestaltend nur auf seine Oberfläche.

29. Der experimentalen Untersuchung bleibt zur vollendeten Durchführung des Gegensatzes eine Frage an die Natur vorbehalten: ist der Ursprung der wärmenden Kraft so ganz auf den positiven Pol beschränkt, daß jede Temperaturerhöhung am negativen bloß eine von jenem hergeleitete ist? Und wenn die angeführten Thatsachen dies sehr wahrscheinlich machen, dürfen wir nicht einen Schritt weiter gehen, und *in der Function der negativen Elektricität eine temperaturerniedrigende Kraft vermuthen?* Freilich könnte diese, schon wegen der Reaction der positiven Wärme, nur in einer flüchtig vorübergehenden und leisen Spur sich äussern. Aber seit es dem scharfsinnigen Peltier gelungen ist, eine solche Spur von Erkältung nachzuweisen an der Berührungsstelle thermoelektrischer Metalle, wenn in einer bestimmten Richtung ein elektrischer Strom durch sie geht, ist die Möglichkeit eines Gelingens auch hier zu hoffen. Der Naturforscher darf nicht zwischen den Zeilen lesen, aber er darf zwischen den Zeilen suchen.

### III. Ueber die Polarität von Licht und Wärme.

30. Wärmefreies Licht und lichtlose Wärme in den elektrischen Phänomenen zu erkennen, ist ein ideales

**Problem der Wissenschaft.** Aber nur in den Anfängen elektrischer Erregung, beim *status nascens* dieser Thätigkeiten, gelingt es mit empirischem Erfolg. Steigt die Energie der Erregung, so erzeugt die Gluthhitze an der Anode selbst secundäres Licht, und durch Wärmeleitung wird die kaltleuchtende Kathode in das Mischungsphänomen gezogen. So kamen wir auf Erscheinungen, bei welchen es schwer wurde, Licht und Wärme, so wie das *causale* Wirken der Elektricitäten in ihnen, gesondert zu unterscheiden. Aber bei der Untersuchung der Wärmephänomene wurden Erscheinungen der negativen Elektricität durch solche, die der positiven angehören, klarer. Und so müssen wir auch noch ferner Manches, was dorthin gehört, hier nachträglich behandeln.

31. Eine andere ideale Aufgabe ist es, Licht und Wärme in ihrer radicalen Einheit zu untersuchen. Jede polare Naturkraft ist in sich identisch und zugleich different. Niemals erscheint die eine Richtung ihrer Thätigkeiten ohne die andere. Beide sind nicht bloß nicht darstellbar, sie existiren gar nicht isolirt. Von dieser höheren *Einheit* müssen wir die *Vermischung* in den complicirten Phänomenen genau unterscheiden.

32. Für diese zweite Aufgabe findet sich nicht leicht ein Anknüpfungspunkt in der elektrologischen Untersuchung. Es ist daher nöthig, auf eine verwandte Erscheinung hinzudeuten, auf das prismatische Farbenbild. Hier, also im Licht selbst, differenzieren sich leuchtende und wärmende Strahlen, so wie dort aus der Wärme sich Licht entwickelt. Die Phosphorescenz der Leuchtsteine sehen wir durch die wärmenden blauen Strahlen erregt werden, durch die leuchtenden rothen erloschen. (Poggend. Ann., Bd. 64, S. 334.) Und diesen schroffen Gegensatz löst die Undulationstheorie durch dessen Zurückführung auf eine bloße Verschiedenheit der Wellenlänge.

33. Das bedeutendste Mischungsphänomen von Licht und Wärme ist die elektrische *Feuerflamme*. „Flamme ist

brennendes Gas," so lautet die gewöhnliche Definition; und von solchen Flammen bieten alle Erregungsarten der Elektricität Beispiele genug dar. Denn wo die elektrische Entladung mit beträchtlicher Energie wirkt, zerstääubt sie nicht bloß das Metall in glühende Theilchen, die man Funken nennt, — diese zünden noch keine Weingeist-dämpfe, — sondern sie verdampft es selbst mit Aenderung des Aggregatzustandes, und der Dampf verbrennt als Flamme. So wirkt die Leydner Flasche, so die Volta-säule, so die durch eine grofse Batterie erregte Magnet-elektricität. Mit meinem Magnetelektromotor, erregt durch 6 Grove'sche Paare, sah ich heftige Metallverbrennungen, welche angenäherten Weingeist entzündeten. Stöhrer beschreibt die Verbrennungerscheinungen an seiner aus drei Stahlmagneten bestehenden Maschine so. (Poggend. Ann., Bd. 61, S. 424.) „Wenn man die Spiralenden hintereinander (also ungleichnamig, zur Vermehrung der Intensität) in den Commutator einmündet, so giebt Stahl auf Stahl Funken in länglich abgerundeter Gestalt, deren Mittelpunkt lebhaft bläulich, weissglänzend mit einem gelblichen und endlich mit einem röhlichen Saum umgeben ist. Ein Verbrennen der Stahltheilchen findet hier noch nicht statt, stellt sich aber sogleich lebhaft und mit starkem Geräusch und Sprühen der Funken ein, wenn man die Spiralen einzeln (gleichnamig, zur Quantitätserhöhung) mit dem Commutator verbindet; . . . diese Funken entzünden Weingeist.“ — Auch der Feuerstrom zwischen den Kohlenelektroden (26.) ist eine solche Flamme; eben so der im Walker'schen Versuch (20.).

34. Aber es giebt auch *kalte Flammen*, nämlich leuchtende Gase mit so geringer Wärme, dass sie nicht zünden. Wenn Phosphor im Dunkeln ganz schwach gerieben wird, so leuchtet er, und es steigt ein leuchtender Dampf auf. So schwach dessen Licht, so schwach ist dessen Wärme. Beide sind einer weit höheren Intensitätsstufe fähig, aber erst bei der Entzündung, oder

bei starker Reibung, geht die sogenannte langsame Verbrennung in die weit schnellere wirkliche über. Jenes ist ein primäres Licht, nicht von einem Glühen hervorgebracht. Allerdings ist es von Oxydation begleitet, aber nicht deren Product. Man thut dem Sprachgebrauch Gewalt an, wenn man jede Oxydation Verbrennung nennt. Aehnliches Leuchten gasartiger Substanzen mit einem Minimum von Wärme und Oxydation kommt auch sonst vor.

35. Eine solche kalte Flamme nun ist die, welche wir im Fundamentalphänomen als Lichthülle der Kathode sehen (10.). Diese leuchtende Substanz hat eine zwar sehr geringe, aber doch sichtbare und messbare Dicke. Ihr Leuchten kommt unstreitig von der Elektricität her; ihr Daseyn aber nicht. Es ist mir wahrscheinlich, dass jedes feste Metall von einer *gasartigen Atmosphäre* in einer sehr dünnen Schicht umgeben ist, und dass von dieser der specifische Geruch mancher Metalle kommt. Von dem Metall ist sie wohl nur durch den Aggregatzustand verschieden. Aber die Elektricität, durch welche sie an der Stelle, wo diese am stärksten wirkt, leuchtend und sichtbar wird, kann so schwach seyn, dass sie weder durch Wärme, noch durch Aufhebung der Cohäsion eine solche Verdampfung zu bewirken vermag.

36. Durch eine solche Metallatmosphäre erklärt sich auch eine eigene Erscheinung. Ich habe nämlich außer dem Platin und Stahl, deren Farbenlichter ich oben beschrieben habe (nämlich weises Spaltenlicht, violette Flamme), noch mit Zink und Kupfer experimentirt. Zink giebt ein blaues Licht; aber auch dem Platin, wenn dieses auf ihm vibrirt und als negativer Pol leuchtet, theilt es die blaue Farbe mit. Kupfer giebt ein grünes Licht, und theilt es ganz ebenso dem Platin mit; auch dem Stahl.

37. Was das Spaltenlicht betrifft (9.), so ist das, was leuchtet, unstreitig das Metall selbst, seine feste Oberfläche. An eine elektrochemische Zersetzung des Wasser-

gases in der Luft, oder gar der Luft selbst, ist beim ganzen Lichtphänomen gar nicht zu denken. Beide leiten viel zu schlecht, als dass eine so schwache Elektricität wie die, welche hier Licht bewirkt, sie durch Induction zum Selbstleuchten bringen könnte. Das primäre Lichtphänomen am negativen Pol ist ein so selbstständiges, ursprüngliches, wie es bei der Wasserzersetzung das Auftreten der beiden Gase an den Polen ist.

38. Ganz anders verhält es sich mit dem Licht, welches die *Frictionselektricität* zeigt. Diese hat eine so hohe Spannung, dass sie die schlechtesten Leiter durch Induction elektrisiert. Wenn also beim elektrischen Strahlenbüschel das Licht an der positiven Elektrode vorherrscht, so ist es die negativ elektrische Luft, welche leuchtet. Wenn man den Versuch in verdünnter Luft anstellt, so expandirt sich deswegen das Licht mit der Luft. Auch bringen deswegen verschiedene Gasarten ein verschiedenfarbiges Licht hervor.

39. Ich habe den Lichtversuch am Magnetelektromotor gleichfalls *in verdünnter Luft* experimentirt. Hier vergrößert sich die violette Flamme auf das Sechs- bis Achtfache, und vermindern sich die weißen Spitzenlichter. Der Leitungswiderstand der metallischen Oberfläche wird also durch Verdünnung der isolirenden Luft vermindert, und eben so der der Metallatmosphäre.

40. Auch in trockenem *kohlensauren Gas* habe ich diesen Versuch angestellt. Hier ist die Erscheinung eine milchweisse Flamme. Man könnte sie für dichtgedrängte Spitzenlichter halten, aber sie überragt die Elektrode, sowohl die flache als die conische. Ihre Größe ist beträchtlich geringer als in atmosphärischer Luft, der Leitungswiderstand also vermehrt. — Bei diesem und dem vorigen Versuch lässt sich nur die Loupe anwenden, wegen der Glasglocke.

41. Wenn nun also die negative Elektricität das Licht, die positive die Wärme hervorruft, so kann die

Fra-

Frage entstehen: Sind Licht und Wärme überall elektrischen Ursprungs? Dies zu bejahen, wäre derselbe Irrthum, wie der, welcher die chemischen, die magnetischen Erscheinungen überall für ein bloßes Ergebniss elektrischer Strömung ansieht. Die großen kosmischen Kräfte stehen in inniger Verwandtschaft und Wechselwirkung; sie bedingen sich gegenseitig, aber sie individualisieren sich zugleich zu unabhängigem Daseyn. Sie sind nicht nach einem starren Gesetze verkettet, so dass ein Glied immer nur von einem höheren getragen wäre; in lebendigem Wechsel ist hier die eine der anderen, dort diese jener untergeordnet. Die Pole der zersetzen- den Kette rufen Acidität und Basicität hervor, aber auch unabhängig davon sind diese Charactere in den materiellen Substanzen isolirt und verkörpert. Eben so ist die magnetische Erregung, welche jeden elektrischen Blitz und Strom transversal begleitet, beim permanenten Magneten der Materie durch Coercitivkraft einverleibt. Selbst wenn der Magnet elektrischen Ursprungs war, verliert er in seiner neuen Daseynsform den Charakter seiner Ab- künft, und erst bei seinem Anwachsen und Vergehen ge- winnt er ihn wieder. So sind auch Licht und Wärme bald abhängig von elektrischen Vorgängen, bald unab- hängig von ihnen, frei und selbstständig, ja zurückwir- kend auf sie. Und wie die elektrischen Pole sich gegen- seitig bedingen, so rufen auch Licht und Wärme sich gegenseitig hervor; obgleich sie auch wieder selbstständig sind und unabhängig von einander vorkommen. In der Reihe fundamentaler Thatsachen, in welche diese Wech- selverhältnisse sich gestalten, fehlt jetzt der Wissenschaft nur noch Eine: die, welche das Umkehrungsphänomen, nämlich die Erregung elektrischer Polarität durch das Licht, nachweist. Hier ist die Gränze, wo eine noch un- bekannte Region beginnt; allein nichts deutet an, dass hier ein Widerspruch gegen das Gesetz, welches in der bekannten herrscht, sich erheben könne. Obgleich in das

bisher Erörterte nicht wesentlich eingreifend, schien diese Lücke mir dennoch hier einer Erwähnung zu bedürfen, um zu experimentaler Untersuchung in dieser Richtung anzuregen.

42. Ich glaube nachgewiesen zu haben, dass die gewöhnliche Vorstellung, die elektrische Lichterscheinung entstehe durch einen vom positiven zum negativen Pol überschlagenden Funken, irrig ist; dass sie vielmehr immer am negativen Pol entsteht und dessen ursprüngliche Function ist; dass dieses Licht das primäre, von der Wärme unabhängige, ist; dass der Ursprung der Wärme und die Aufhebung der Cohäsion dem positiven Pol angehört; dass diese Function, wenn sie sich höher steigert, in's Glühen übergeht, als solche secundäres Licht entwickelt, Theilchen der Anode zum negativen Pol überführt, und diesen durch die Wärmeleitung selbst ergreift, so dass Licht und Wärme nicht in ihrer Entstehung sondern erst in ihrer Steigerung sich zur Feuererscheinung vermischen. Das Licht überall von der Wärme, die Function des negativen Pols von der des positiven herzuleiten, diese Ansicht ist eben so einseitig als die, welche die Entstehung der Contactelektricität von der Function des positiven Metalls herleitet. Beide Factoren sind dort wie hier vollkommen ebenbürtig.

Frankfurt a. M., 20. Juni — 30. August 1845.

**VI. Ueber die Anwendung des elektrischen Fun-  
kens zu Geschwindigkeitsmessungen;**

*von Werner Siemens, bmr obsolet  
Lieutenant in der Königl. Preuß. Artillerie.*

*(Gelesen in der physikalischen Gesellschaft zu Berlin am 3. Oct. 1845.)*

**E**s hat sich neuerdings ein Prioritätsstreit über die Idee, die Bewegungsgeschwindigkeit der Projectile mittelst des galvanischen Stromes zu messen, erhoben. Aus den dort gemachten Zeitangaben ergiebt sich jedoch, daß in der preußischen Artillerie schon viel früher ein derartiger Plan aufgestellt und in's Leben gerufen wurde. Da der zu diesem Behufe gefertigte und noch jetzt im Gebrauch befindliche Apparat noch in keiner wissenschaftlichen Zeitschrift beschrieben, wenn auch seiner Zeit in einigen Tagesblättern ausführlich besprochen ist, so werde ich einige Worte über den Ursprung und die erste Ausführung der Idee, die Bewegungsgeschwindigkeit der Geschosse mit Hülfe des galvanischen Stromes, und namentlich des Elektromagnetismus, zu messen, vorausschicken. Die Richtigkeit dieser Angaben würde sich sowohl durch die Acten der betreffenden Behörde, wie durch die einigen fremden Gesandten, namentlich den französischen und russischen, auf ihr Ansuchen gemachten offiziellen Mittheilungen über diesen Gegenstand erweisen lassen.

Der grosse Werth, welchen die genaue Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit der Geschosse für die Artillerie hat, und die grossen Mängel, welche den bisher zu diesem Behufe benutzten Instrumenten, und namentlich dem Ballistischen Pendel, anhaften, veranlaßten die Artillerie-Prüfungs-Commission zu Berlin zur Betretung eines ganz verschiedenen Weges, nämlich der directen Messung der Flugzeit des Projectils, mittelst eines elektro-

magnetischen Apparats. Schon im Jahre 1838 war dieser Plan von der genannten Commission vollständig ausgearbeitet. Er bestand darin, dass eine Uhr erbaut werden sollte, welche sich zur Angabe sehr kleiner Zeittheile eignete und durch magnetische Kraft engagirt und arretirt werden könnte. Der hiesige Uhrmacher Hr. Leonhard ward mit dem Bau derselben beauftragt und begann ihn im Februar 1839. Die grossen technischen Schwierigkeiten, welche sich der Anfertigung einer solchen, die Ablesung von  $\frac{1}{1000}$  Secunden gestattenden Instrumentes entgegensezten, machten bedeutende Modificationen des ursprünglichen Planes und viele zeitraubende Versuche erforderlich. Dem Eifer und der grossen Geschicklichkeit des Hrn. Leonhard gelang es indefs, dies Werk endlich zur völligen Zufriedenheit und so herzustellen, wie es noch jetzt bei den Versuchen der Artillerie-Prüfungs-Commission in Gebrauch ist. Im Wesentlichen besteht es aus einem conischen Pendel, welches durch ein Uhrwerk in kreisförmiger Schwingung erhalten wird. — Ein Beobachtungszeiger kann durch Bewegung eines Hebels mit diesem in stetem und gleichförmigem Gange befindlichen Uhrwerk verbunden, und ebenso wieder von ihm getrennt und festgestellt werden.

Diese Engagirung und Arretirung des Beobachtungszeigers suchte man bei den im Jahre 1842 mit dieser Uhr angestellten Versuchen dadurch zu bewerkstelligen, dass die Kugel beim Hinaustreten aus der Mündung des Geschützes einen elektrischen Strom herstellte, durch welchen der Magnetismus eines Elektromagneten erregt und der Anker angezogen wurde. Durch die Bewegung des Ankers wurde der Beobachtungszeiger mit dem im Gange befindlichen Uhrwerk verbunden und daher in Bewegung gesetzt. — Wenn die Kugel am Ziele anlangte, so wiederholte sich dasselbe Spiel mit einem zweiten Elektromagneten, wodurch der Zeiger wieder vom Uhrwerk getrennt und festgestellt wurde.

Man gewann indefs bald die Ueberzeugung, daß die auf diesem Wege erzielten Zeitangaben nie den Grad von Genauigkeit erreichen würden, welchen die Construction der Uhr gestattete. Der Grund lag einmal darin, daß die Kugel nicht direct die galvanische Kette herstellen konnte, und zu diesem Ende mechanische Zwischenglieder eingeschaltet werden mußten, welche nothwendig Fehlerquellen mit sich führten, und zweitens darin, daß die Erregung des Magnetismus nicht momentan mit der des Stromes erfolgt, und daß seine Intensität von der Stärke desselben abhängt, und daher nie vollkommen constant ist. Die Bewegung des Ankers wird daher auch nicht immer in demselben Zeitabschnitt nach der Erregung des Stromes beginnen, und außerdem die zur Durchlaufung seines Weges erforderliche Zeit verschieden seyn.

Dies veranlaßte mich schon damals zu dem Vorschlage zur Engagirung und Arretirung des Beobachtungszeigers, anstatt des Elektromagnetismus, den elektrischen Funken zu benutzen. Dies ließ sich auf verschiedene Weise ausführen. Die Federn, durch deren Freiwerden der Zeiger engagirt und arretirt wurde, konnten durch äußerst fein gezogene Platindrähte gespannt werden, welche durch hindurchschlagende Funken nach einander geschmolzen wurden; oder dies konnte durch Seidenfäden geschehen, welche durch einen permanenten Strom von Wasserstoff oder einen mit Knallgas gefüllten Raum hindurch gingen und durch die Entzündung des Gases durch den elektrischen Funken verbrannt wurden. Auch konnten die, die Engagirung und Arretirung des Zeigers bewirkenden Hebel durch die mechanische Wirkung der Explosion des Knallgases direct in Bewegung gesetzt werden.

Die Artillerie-Prüfungs-Commission ging jedoch auf meinen Vorschlag nicht ein, weil ihr die Isolirung langer Leitungsdrähte, besonders bei nicht ganz günstiger Witterung, zu schwierig schien. Sie adoptirte dagegen die

von Himly in Göttingen zuerst vorgeschlagene und von mir gleichzeitig mit meinem Plane zu ihrer Kenntniß gebrachte Unterbrechung des galvanischen Stromes durch die Kugel unmittelbar, jedoch benutzte sie dieselbe in ganz anderer Weise, wie Himly es vorschlug. Dieser wollte nämlich durch die Unterbrechung der Hauptleitung einer starken galvanischen Kette den ganzen activen Strom einer Nebenleitung zuwenden, dadurch einen feinen in dieselbe eingeschalteten Platindraht schmelzen und hierdurch den Beobachtungszeiger engagiren. Die Commission behielt dagegen den Elektromagnetismus bei, jedoch unter der wesentlichen Modification, daß die Engagirung und Arretirung des Beobachtungszeigers nicht mehr wie früher durch die Herstellung eines Stroms, sondern durch die Unterbrechung desselben und das damit verbundene Absfallen der Anker der Elektromagneten geschehen sollte.

Die mit der so ausgerüsteten Uhr, namentlich im Sommer 1844, angestellten Beobachtungen gaben im Allgemeinen befriedigende Resultate, da der variable Fehler selten einige Tausendtheil-Secunde überstieg. Vollkommen fehlersfreie Resultate werden sich jedoch auch auf diesem Wege nicht erzielen lassen, weil die magnetische Kraft nicht plötzlich mit der Unterbrechung des Stromes aufhört, oder auch nur bedeutend vermindert wird. Es kann dies nur in einer mehr oder weniger steilen Curve geschehen. Wenn daher auch ein Anker, der die Gränze der Tragkraft des Magneten beinahe erreicht, scheinbar momentan mit der Unterbrechung des Stromes abfällt, so muß doch immer eine, von der Stärke des Stromes, so wie auch von der Dauer seiner Einwirkung auf den geschlossenen Magneten abhängige Zeit verfließen, bis dies eintritt. Ja selbst wenn die Schwere des Ankers die Tragkraft vollständig erreichte, könnte er doch nicht momentan abfallen, weil im Augenblicke der Unterbrechung der Strom und mithin auch die Anziehungskraft des Magne-

ten, durch die inducirende Wirkung der Drahtwindungen auf einander, noch ansehnlich vermehrt wird.

Wheatstone und Breguet wenden bei ihren neuerdings bekannt gemachten Apparaten, anstatt einer Uhr als Zeitmesser, einen rotirenden Cylinder an. Sie lassen die Anker der Elektromagnete direct auf denselben hinabfallen und erhalten dadurch Marken auf seiner Oberfläche, deren lothrechter Abstand von einander ihnen das Maaf der zwischen der Unterbrechung der beiden Ströme verflossenen Zeit giebt.

Es ist einleuchtend, dass ein Cylinder sich durch Verbindung mit einem conischen Pendel in weit gleichmässigere und schnellere Rotation versetzen lässt, wie ein Beobachtungszeiger, der plötzlich in Bewegung gesetzt und dennoch sehr leicht und zart construirt werden muss, damit seine Masse keine merkbaren Störungen verursacht. Durch das directe Hinabfallen der Anker auf den Cylinder ist ferner abermals ein mechanisches Zwischenmittel zwischen dem Geschosse und dem Zeitgeber beseitigt, also auch eine Fehlerquelle weniger vorhanden. Indeß sind dagegen andere Uebelstände mit diesen Apparaten verknüpft, die ihre Vorzüge vor dem hier angewendeten mindestens sehr fraglich machen. Es können nämlich bei jenen nur sehr leichte Anker angewendet werden, die sowohl hinsichtlich der Zeit ihres Abfallens, wie auch während des Falles selbst, störenden Einflüssen weit mehr ausgesetzt sind, wie schwere. Doch auch möglichst leichte Anker werden im Augenblicke des Stosses auf den Cylinder eine beträchtliche Reibung erzeugen, welche störend auf die gleichförmige Bewegung desselben einwirkt. Der Cylinder selbst muss sehr lang und verhältnismässig schwer werden, und seine Axen eine entsprechende, der gleichförmigen und schnellen Rotation nachtheilige Dicke erhalten. Eine weit grössere Fehlerquelle liegt aber noch in der Verschiebung des Cylinders oder der Magnete während der Messung. Denn da dieselbe erst kurz vor-

her beginnen kann, so muss die jetzt eintretende Bewegung einer beträchtlichen Masse, die nur auf Kosten der Drehungsgeschwindigkeit des Cylinders entstehen kann, nothwendig bedeutende Störungen in der Gleichmässigkeit der letzteren herbeiführen, die noch durch die beträchtliche Reibung in den Schraubengewinden vergrößert werden. Die Resultate der Messungen mittelst eines solchen Instruments können daher auch nur sehr unsicher seyn.

Wenn indefs auch die Anwendung eines rotirenden Cylinders in Verbindung mit Elektromagneten mit grossen Uebelständen verknüpft ist, so würde doch ein solcher, wenn er sehr kurz und leicht gefertigt worden, und ganz frei rotiren könnte, einen sehr vollkommenen Zeitangeber bilden.

Dies bewog mich, meinen früheren Plan, den elektrischen Funken zur Geschwindigkeitsmessung zu benutzen, wieder aufzunehmen, und die Uhr durch einen rotirenden Cylinder zu ersetzen. Mein Bestreben war dabei, jedes mechanische Zwischenelement zwischen der Kugel und dem Zeitangeber zu beseitigen, den Funken sich also direct auf dem Cylinder markiren zu lassen. — Eine Reihe von Versuchen, die ich mit verschiedenen Metallen und Ueberzügen anstellte, um eine scharf begrenzte und leicht erkennbare Marke durch einen überspringenden Funken zu erhalten, ließ mich einen polirten Stahlcylinder ohne jeden Ueberzug als das Angemessenste erkennen. — Jeder, wenn auch noch so schwache Funke, macht auf polirtem Stahl einen scharf begrenzten und deutlich sichtbaren Punkt. Er ist anfangs schwärzlich gefärbt von abgelagertem Eisenoxyd, tritt aber, wenn dies durch Abwaschen entfernt ist, viel deutlicher als heller unter dem Mikroskop sichtbar vertiefter Fleck hervor.

Die Construction des hierauf begründeten elektrischen Chronoskops ist nun folgende:

Ein sorgfältig gearbeiteter und getheilter Stahlcylinder, dessen Schwerpunkt im Quecksilberbade genau cen-

tritt ist, wird durch ein Getriebe mit einem conischen Pendel in Verbindung gesetzt, und durch dasselbe in schneller und gleichmässiger Rotation erhalten. Seiner Peripherie möglichst nahe ist eine isolirte Metallspitze angebracht, welche mit der inneren Belegung einer geladenen Leydner Flasche communicirt. — Von dem ebenfalls isolirten Cylinder und der äusseren Belegung der Flasche ausgehend, führen zwei Metalldrähte, in einem die Schlagweite des Funkens übersteigenden Abstande, vor der Mündung des Geschützes vorbei, und sind hinter derselben befestigt. Wenn die Kugel aus der Mündung des Geschützes tritt, so trifft sie die beiden Drähte und stellt in diesem Augenblicke die leitende Verbindung des Cylinders mit der äusseren Belegung der Flasche durch ihre eigene metallische Masse her. Der jetzt überspringende Funke markirt sich auf der Oberfläche des rotirenden Cylinders. Einige Fuſs von der Mündung des Geschützes entfernt ist ein zweites Drahtpaar eben so wie das erste angebracht, von denen der eine ebenfalls mit dem Cylinder, und der zweite mit der äusseren Belegung einer zweiten Flasche communicirt, deren innere Belegung wie die der ersteren mit der Spitze verbunden ist. Der zweite Funke muss daher auf den Cylinder überspringen, wenn die Kugel den Abstand der beiden Drahtpaare von einander durchlaufen hat und das zweite Paar trifft; der Abstand der Punkte von einander ist dann das Maaf der dazu verbrauchten Zeit.

Gesetzt nun, der Cylinder wäre in Tausend Theile getheilt und rotire 10mal in der Secunde um seine Axe, so würde einem Abstande der Punkte von 1 Theilstrich eine Zeit von 0,0001 Secunden entsprechen. Mit Hülfe eines Nonius lassen sich aber noch 10 Unterabtheilungen bequem ablesen, wenn die Funken schwach gehalten sind, wodurch die Genauigkeit der Messung sich auf 0,00001 Secunden steigert. Ein Fehler in der Zeitangabe ist dabei kaum möglich, und könnte nur in einer Unregelmäſsig-

keit der Drehung des Cylinders seinen Grund haben. Durch eine grofse Drehungsgeschwindigkeit wird aber der nachtheilige Einfluss etwaniger Fehler des Räderwerks, die sich bei langsamer Bewegung vollständig auf die Drehung des Cylinders übertragen würden, compensirt. Da sich bei dieser Schärfe der Zeitangabe noch eine Bewegung des Geschosses um  $\frac{1}{65}$  Fuß auf dem Cylinder ablesen lässt, so würde es unnöthig seyn, die Flugzeiten während eines grösseren Theils der Gesamtbahn desselben zu messen, wie es bei Anwendung des Elektromagneten, des beträchtlichen variablen Fehlers wegen, erforderlich ist. Man gewinnt dadurch in mehrfacher Beziehung. Einmal kann die Anfangsgeschwindigkeit direct gemessen werden, da die Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit des Geschosses in den ersten 5 bis 10 Fuß noch kaum merkbar seyn wird. Ferner kann man ohne Schwierigkeiten zwei kurze hinter einander folgende Stücke der Flugbahn gleichzeitig messen, um dadurch eine Controle der Zeitangabe zu erhalten. Man braucht zu diesem Ende nur ein drittes Drahtpaar, welches mit einer dritten, eben so wie die beiden anderen, mit der Spitze verbundene Flasche communicirt, in der Schuflinie zu placiren. Endlich erreicht man dadurch noch den Vortheil, dass die zu messenden Zeiten stets geringer sind, wie die zu einer halben Umdrehung des Cylinders erforderliche. Es ist defswegen auch nicht nöthig eine Verschiebung der Spitze oder gar des Cylinders stattfinden zu lassen, um die Umdrehungen zählen zu können, und zu wissen, welches der erste Punkt ist. Ferner ist es auch unnöthig dem Cylinder eine beträchtliche Länge zu geben, und nach jedem Schusse denselben anzuhalten, um das Resultat abzulesen. — Die Spitze braucht nur nach jedem Schusse in der Richtung der Axe des Cylinders etwas verschoben zu werden. Hierdurch werden die Punkte in einen neuen Kreis gebracht und können von den früheren leicht unterschieden werden. Die Fähigkeit, kleine

Zeitintervallen mit Genauigkeit zu messen, macht dies Instrument noch zu einer anderen Versuchsreihe anwendbar, welche für die Theorie der Schusswaffen von großer Bedeutung werden wird. Es ist dies das Messen der Geschwindigkeit des Geschosses in den verschiedenen Abschnitten seiner Bahn im Geschütze selbst. Man braucht zu diesem Ende nur in verschiedenen Abständen Löcher in's Geschütz zu bohren und isolirte Leitungsdrähte hindurch zu führen, die mit den äusseren Verlegungen der Flaschen communiciren, während das Geschütz mit dem Cylinder in leitende Verbindung gebracht ist.

Bei allen diesen Messungen kann das Instrument in einem Zimmer dicht bei dem Geschütze, und dieses selbst mit den Leitungsdrähten ebenfalls in einem bedeckten Raume stehen.

Die Isolirung der Drähte würde daher bei einigermaßen günstiger Witterung, die man ja immer zu derartigen wissenschaftlichen Untersuchungen abwarten kann, keine Schwierigkeit haben. Eben so würde bei den vorgeschlagenen geringen Entfernungen das Treffen der einzelnen Drahtpaare nicht gefährdet seyn. Um Letzteres auch auf grössere Entfernungen zu sichern, kann man auch einen Rahmen, in welchem parallele Drähte ausgespannt sind, anstatt eines einzelnen Drahtpaars in die Schusslinie bringen. Die Drähte werden abwechselnd mit einander verbunden, so dass z. B. der 1ste, 3te, 5te etc. mit dem Cylinder, der 2te, 4te, 6te etc. mit der äusseren Belegung der Flasche communicirt. Die Kugel muss dann stets mit zwei nach einander folgenden Drähten gleichzeitig in Contact kommen, und dadurch das Ueberspringen des Funkens veranlassen.

Zur Messung der Zeiten, welche das Geschoß zur Durchlaufung sehr großer Theile seiner Gesamtbahn gebraucht, würde das Instrument in der beschriebenen Form indefs kaum anwendbar seyn, da die Isolirung so langer Drähte immer mit grossen Schwierigkeiten verknüpft

seyn würde. Zu diesem Behufe würde es vortheilhafter seyn, sich des Inductionsfunken anstatt des Funkens der Flasche zu bedienen. Dieses ließe sich auf folgende Weise bewerkstelligen:

Ein aus isolirten Drähten bestehender Eisenkern wird mit zwei besponnenen Drähten umwunden, von denen der eine dickere der Schließungsdräht einer starken galvanischen Kette ist, und vor der Mündung des Geschützes vorbeiführt. Die Enden des zweiten dünnen und längeren Drahtes werden mit dem rotirenden Cylinder und der Spitze, die dem Cylinder so nahe wie möglich gebracht wird, verbunden. Bei der Unterbrechung der Kette durch die Kugel springt dann ein Funke auf den Cylinder über, der sich ebenfalls, wenn auch bedeutend schwächer und undeutlicher, auf dem Cylinder markirt. Daselbe wiederholt sich mit einer anderen Inductionsrolle, wenn die Kugel, am Ziele angelangt, den Schließungsdräht einer zweiten Kette durchreist.

Da sich die Empfindlichkeit des beschriebenen Apparats durch eine möglichst sorgfältige Anfertigung, genauere Theilung und schnellere Rotation des Cylinders und Benutzung sehr schwacher Funken noch bedeutend steigern lassen wird, so ließe er sich auch vielleicht mit Vortheil zu Messungen der Bewegungsgeschwindigkeit der Elektricität selbst benutzen. Zu dem Ende müßte der Cylinder aus zwei isolirten Scheiben oder Ringen, die auf derselben Axe rotiren, bestehen. Diesen Scheiben stehen zwei Spitzen gegenüber, die genau auf denselben Theilstrich eingestellt sind. Wird nun die eine dieser Spitzen mit der inneren Belegung einer geladenen Flasche verbunden, und ist die Verbindung der beiden Scheiben durch einen langen Leitungsdräht hergestellt, so wird, wenn die zweite Spalte durch einen eben so langen Draht mit der äusseren Belegung in Verbindung gesetzt wird, ein Funke zwischen beiden Scheiben und Spitzen über-springen. Der lothrechte Abstand der Punkte von einan-

der gibt dann die Zeit an, welche der Funke zur Durchlaufung der Hälfte des Gesammtweges gebrauchte.

### VII. Ueber ein Volumenometer; von Hrn. V. Regnault.

(*Ann. de chim. et de phys.*, Ser. III, T. XIV, p. 207.)

Ein französischer Physiker, Hr. Say, hat zuerst den Vorschlag gemacht, das Volum eines Körpers durch Messung des von ihm verdrängten Luftvolums zu messen<sup>1)</sup>. Der von Say unter dem Namen *Stereometer* vorgeschlagene Apparat ist eine Art Glastrichter *AB* (Taf. I, Fig. 11), bestehend aus einer Kapsel *A*, in welche man den Körper legt, und einer Röhre *B* von möglichst gleichförmigem Durchmesser. Die Kapsel ist auf ihrem Rande abgeschliffen, damit sie durch eine schwach eingefettete Glasplatte hermetisch verschlossen werden kann. Auf die Röhre ist eine doppelte Scala geklebt; die eine giebt Längentheile der Röhre, die andere deren Volume.

Während die Kapsel offen ist, senkt man die Röhre bis zum Nullpunkt ihrer Scala in einen mit Quecksilber gefüllten Cylinder, und verschließt nun die erstere durch die Glasplatte. Man hat alsdann ein Luftvolum *V* unter dem Druck *H* der Atmosphäre. Nun hebt man das Instrument; die Luft nimmt ein gröfseres Luftvolum *V+v* ein, aber unter einem schwächeren Druck *H-h*, wo *h* an der Längenscala der Röhre *b* gemessen wird. Offenbar ist also:

$$\frac{V+v}{V} = \frac{H}{H-h}, \quad \text{woraus} \quad \frac{v}{V} = \frac{h}{H-h}.$$

1) *Ann. de chimie*, T. XXIII, p. 1. (Gilbert's Annal., Bd. 2, S. 230. P.)

Gesetzt nun, man wolle das Volum  $x$  eines Körpers messen. Hierzu bringt man denselben in den Behälter  $A$ , und verschließt diesen durch die Platte. Da das Quecksilber des Cylinders dem Nullpunkt der Scala entspricht, so nimmt die Luft des Instruments das Volum  $V-x$  unter dem atmosphärischen Druck  $H$  ein. Man zieht das Instrument so weit heraus, bis es das Volum  $V-x+v$  erfüllt, und man beobachtet nun eine gehobene Quecksilbersäule  $h$ . Die Spannkraft der Luft ist also  $H-h$ , und man hat:

$$\frac{V-x+v}{V-x} = \frac{H}{H-h}.$$

$v$  ist durch den ersten Versuch bekannt; man kann also  $x$  aus der vorstehenden Gleichung herleiten.

Say's Verfahren kann in vielen Fällen mit Erfolg angewandt werden, wo man die auf ihre Dichtigkeit zu untersuchende Substanz nicht mit einer Flüssigkeit in Berührung setzen darf; dies gilt von vielen organischen Substanzen, z. B. Satzmehl, Holz u. s. w., oder von Kunstproducten, wie Schießpulver.

Apparate, auf dieselbe Methode gegründet, sind später von verschiedenen Physikern vorgeschlagen; ich nenne nur Leslie und Hermann Kopp<sup>1)</sup>.

In der gegenwärtigen Notiz will ich einen analogen Apparat beschreiben, den ich zu speciellen Untersuchungen anfertigen ließ. Derselbe ist in Fig. 12 und 13, Taf. I, abgebildet. Er besteht aus einer Glaskugel  $A$  von 300 Kub. centm. Rauminhalt, der mittelst einer metallenen Fassung auf seinem Hals, durch vier Schrauben und Zwischenlegung von eingefettetem Leder, luftdicht mit dem manometrischen Apparat  $abcd$  verbunden werden kann. Das Manometer besteht aus zwei 14 Millimetern weiten Röhren, eingekittet in ein Hahnstück, wie ich es bei meinen Versuchen über die Ausdehnung der Gase und die Spannung der Dämpfe angewandt habe. Die Röhre  $cd$ , die

1) *Ann. de chim. et de phys.*, Ser. III, T. VI, p. 380.

mit der Kugel *A* gemeinschaftet, hat nach oben eine Kugel *B* und zwei Merkstriche *mn* und *pq*.

Die Aichung der Röhre, von da, wo sie in die Kugel *A* tritt, bis zu jedem der Striche *mn* und *pq*, geschieht durch genaue Wägung des sie innerhalb dieser Räume füllenden Quecksilbers, eine Operation, die leicht ausführbar ist, weil man vermöge der besondern Einrichtung des Hahns *R* nach Belieben entweder, wie in Fig. 14, die beiden Röhren *ab* und *cd* in Gemeinschaft setzen, oder, wie in Fig. 15, bloß das in *ab* enthaltene Quecksilber abfließen lassen kann. Das Volum zwischen den Strichen *mn* und *pq* werde ich *v* nennen. Eben so misst man das Volum der Kugel *A* aus. Dieses Volum, vermehrt um das der communicirenden Röhre bis zum ersten Strich *mn*, giebt das Volum *V*.

Um das Volum einer Substanz zu bestimmen bringt man von ihr so viel in die Kugel *A*, daß sie dieselbe etwa zur Hälfte füllt. Wägt man die Kugel vor- und nachher, so hat man das Gewicht der hineingebrachten Substanz. Man schraubt die Kugel an den Apparat, und läßt den Hahn *r* offen. Man gießt Quecksilber in das Manometer bis zum Strich *mn*; dann sind beide Säulen im Niveau. Glaubt man, es sey in der Kugel *A* Temperaturgleichgewicht eingetreten, so schließt man den Hahn *r*, und läßt durch den geöffneten Hahn *R* so viel Quecksilber abfließen, daß das Niveau auf *pq* herabgebracht wird. Man misst den Niveauunterschied *h* beider Säulen und den Barometerstand; dadurch hat man alle Data zur Gleichung:

$$\frac{V-x+r}{V-x} = \frac{H}{H-h} \quad (1),$$

woraus

$$x = V - \frac{r(H-h)}{h}.$$

Man erhält sogleich einen neuen Werth von *x*, wenn man den mit der Atmosphäre gemeinschaftenden Hahn *r* öffnet und Quecksilber in das Manometer nachgießt, bis

das Niveau in  $pq$  kommt und beide Säulen gleiche Höhe erhalten. Man hat nun ein Luftvolum  $V-x+v$  unter dem Druck  $H$ ; man schliesst den Hahn  $r$  und gießt so viel Quecksilber hinzu, dass das Niveau nach  $mn$  kommt. Dann hat man ein Luftvolum  $V-x$  unter dem Druck  $H+h$ , folglich:

$$\frac{V-x+v}{V-x} = \frac{H+h}{H} \quad \dots \dots \dots (2),$$

woraus

$$x = \frac{Vh + vH}{h}$$

Combinirt man beide Beobachtungen, so ist man der Beobachtung des Barometers gänzlich überhoben. Man kann nämlich  $H$  zwischen den beiden Gleichungen (1) und (2) eliminiren; dies giebt:

$$\frac{V-x+v}{V-x} = \frac{h'}{h} \quad \dots \dots \dots (3),$$

woraus

$$x = V - v \frac{h}{h' - h}$$

In einigen Fällen ist erforderlich mit einer vollkommen trockenen Substanz zu operiren. Dann trocknet man die Substanz in der Kugel  $A$  selbst, bestimmt ihr Gewicht, schraubt die Kugel an den Apparat, und setzt die Röhre  $t$ , während das Manometer ganz mit Quecksilber gefüllt ist, in Verbindung mit einer Röhre voll Chlorekalzium. Im Uebrigen verfährt man wie vorhin.

Will man diese Methode zur Bestimmung der Dichtigkeit verschiedener Proben einer selben Materie anwenden, z. B. verschiedener Proben von Schießpulver, so bringt man in die Kugel immer ein gleiches Gewicht vom Pulver und graduirt den Apparat so, dass er die Dichtigkeiten unmittelbar angiebt. Eine sehr einfache Correctionstafel wird erlauben die Veränderungen des Barometers während der verschiedenen Operationen in Rechnung zu ziehen. Die directe Graduirung des Apparats kann dadurch geschehen, dass man successiv bekannte Gewichte Quecksilber in die Kugel  $A$  bringt und deren

**Volum durch den Apparat selbst bestimmt. Dasselbe Verfahren gestaltet, mit Leichtigkeit zu erkennen, welchen Grad von Genauigkeit diese Bestimmungen zulassen.**

Gewisse Substanzen haben die Eigenschaft, bei Zunahme des Drucks Luft zu verschlucken, und bei Abnahme desselben sie zu entlassen. Für solche Substanzen würde Say's Methode offenbar unrichtige Resultate geben. Allein dieser Substanzen giebt es weit weniger, als man glauben sollte. Bei meinem Verfahren erkennt man übrigens unfehlbar, wann jener Fall eintritt, indem dann die Gleichungen (1) und (2) nicht mehr denselben Werth für  $x$  geben, und der Druck in dem Apparat sich mit der Zeit verändert.

### **VIII. Ueber die Zersetzung des Wassers durch Metalle bei Gegenwart von Säuren und Salzen.**

Unter diesem Titel hat Hr. Millon in den *Compt. rend.*, Tom. *XXI*, p. 37, eine Reihe von Thatsachen beschrieben, deren Erklärung zwar ziemlich nahe liegt, die aber doch nicht ohne Interesse und Nutzen sind. Er hat nämlich beobachtet, dass die Wirkung verdünnter Säuren auf Metalle, wie Zink, Eisen, Zinn, u. s. w. in der Regel mehr oder weniger bedeutend erhöht wird, wenn Lösungen gewisser Metallsalze, selbst in sehr geringer Menge, zugesetzt werden. Hr. M. scheint keine recht bestimmte Ansicht über die Ursache dieser Vorgänge gefaßt zu haben, allein es ist wohl klar, wie es auch kurz hernach Hr. Barresewil in den *Compt. rend.*, T. *XXI*, p. 292, ausgesprochen hat, dass, da die als Salze hinzugefügten Metalle meistens elektro-negativerer Natur als die sich lösenden Metalle sind, jene auf diese niedergeschlagen werden, und somit galvanische Ketten entstehen,

deren Wirkung sich mit der directen der Säure combiniert. Folgendes sind die hauptsächlichsten der von Hrn. M. beobachteten Einzelheiten.

Zink, als Blech, in einem Stücke von etwa 100 Quadratcentm. Oberfläche, wurde mit  $1\frac{1}{4}$  Deciliter verdünnter Schwefelsäure (1 Thl. Säure und 12 Thl. Wasser) übergossen und nach 10 Minuten der Gewichtsverlust bestimmt. Eben so wurde mit andern gleich großen Stücken verfahren, nachdem der Säure einige Tropfen einer concentrirten Metallösung hinzugesetzt worden. So ergaben sich folgende relative Verluste:

mit der reinen Säure	1
- Zusatz von 15 Tropf. schwefels. Silberoxyd	2,4
- - - 10 - Brechweinstein	29
- - - 10 - schwefels. Kupferoxyd	45
- - - 15 - arseniger Säure	123
- - - 4 - Platinchlorid	149.

Die Wirkung des Platinchlorids ist nicht allein außerordentlich stark, sondern erfolgt auch sogleich; die der arsenigen Säure entwickelt sich dagegen erst allmälig, und so nimmt auch die der drei anderen Salze mit der Zeit zu. Die Beschleunigung der Auflösung hängt ferner zum Theil von der Menge des zugesetzten Metallsalzes ab, und steigt bis zu einem gewissen Grad mit dieser.

Lösungen von Kobalt, Nickel, Zinn, Kadmium, Chrom, Blei, Antimon und Wismuth beschleunigen die Auflösung des Zinks in Schwefelsäure ebenfalls, doch nicht in so ausgezeichnetem Grade. Dagegen wird dieselbe durch einige Tropfen einer Lösung von Quecksilberchlorid außerordentlich verzögert, indem sich das Zink mit einer dünnen Schicht von Amalgam bekleidet. 20,978 Gram. Zink in eine Quantität verdünnter Schwefelsäure (1 Säure mit 10 Wasser) gelegt, welche das Metall binnen anderthalb Stunden vollständig gelöst haben würde, verloren nach Zusatz (einer nicht näher angegebenen

Menge) von Quecksilberchlorid binnen 70 Stunden nur 0,343 Grm.

Auch in Chlorwasserstoffsäure, Kleeäure, Essigsäure u. s. w. befördert ein Zusatz von Platinchlorür die Lösung des Zinks ausnehmend. Dagegen zeigt das Quecksilberchlorid bei der Essigsäure (Radicalessig verdünnt mit 1 Vol. Wasser) durchaus keine schützende Wirkung.

Ferner löst sich das Zink, auf Zusatz kleiner Mengen von Platinchlorid, in destillirtem Wasser, in Lösungen von Ammoniak-, Kali- und Natronsalzen, besonders Chlornatrium, und vor allem schwefelsaurem Natron. Hierbei zeigt sich auch das Licht von Wirkung; es beschleunigt im Allgemeinen die Auflösung. Zuweilen erfolgt auch im Dunklen aufangs ein Auflösen, das aber nach einiger Zeit plötzlich aufhört.

**Eisen.** Das Auflösen desselben als Drehspäne (also Gusseisen?) in verdünnter Schwefelsäure (mit 12 Wasser) wird durch Platinchlorid außerordentlich beschleunigt, dagegen durch arsenige Säure so vollkommen gehindert, daß einige Tropfen derselben dem Metall seinen Metallglanz so gut wie unverändert erhalten. Brechweinstein und Quecksilberchlorid verzögern die Wirkung ebenfalls, hemmen sie aber nicht gänzlich; schwefelsaures Kupferoxyd und schwefelsaures Silberoxyd befördern sie dagegen wiederum, doch nicht ausgezeichnet.

Mit Chlorwasserstoffsäure und Essigsäure verhalten sich die genannten Salze im Ganzen ähnlich; mit Kleeäure bedeckt sich dagegen das Eisen auf Zusatz von Platinchlorid mit einer schwarzen Schicht von Platin, und wird, statt rascher gelöst zu werden, vielmehr gegen den Angriff der Säure geschützt, gleich wie durch arsenige Säure.

Bei Salpetersäure (einer von  $4\frac{1}{2}$  Aeq. Wasser verdünnt mit 2- bis 3fachem Volum Wasser) sind die Erscheinungen auffallend. Gießt man sie auf Eisendrehspäne, so löst sich das Metall unter Entwicklung rother

**Dämpfe und Bildung von Oxydsalz.** Wird derselben Säure aber ein Tropfen Platinchlorid zugesetzt, so entwickelt sich Wasserstoffgas und es entsteht ein Oxydsalz nebst salpetersaurem Ammoniak.

**Zinn.** Rauchende Chlorwasserstoffsäure, verdünnt mit gleichem Volum Wasser, wird bei 21° C. Temperatur in ihrer Wirkung auf gewalztes Zinn durch Zusatz einer kleinen Menge von Brechweinstein bis zum 11fachen, und durch einen ähnlichen von Platinchlorid bis zum 13fachen gesteigert. Bei der Siedhitze des Wassers übertrifft sogar die Wirkung des Brechweinsteins die des Platinchlorids, und noch mehr ist dies der Fall, wenn statt des gewalzten, gekörntes Zinn angewandt wird.

**Blei** löst sich in Chlorwasserstoffsäure, selbst verdünnter, mit starker Wasserstoffentwicklung, wenn etwas Platinchlorid zugesetzt wird. **Kupfer** verhält sich eben so, und, in der Hitze, auch Antimon. Das Kupfer giebt mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure, wenn sie erwärmt mit ein wenig Platinchlorid versetzt worden, eben so reichlich Wasserstoffgas als das Zink in verdünnter Schwefelsäure. Dagegen wird der Angriff einer mit dem 3- oder 4fachen Volum Wasser verdünnten Salpetersäure auf Kupfer durch Zusatz von etwas Platinchlorid bedeutend gehemmt, durch die geringste Menge eines Nitrats aber sogleich wiederhergestellt.

#### **IX. Blaues Licht nicht allein vom Golde durchgelassen; von Hrn. Dupasquier.**

(*Compt. rend., T. XXI, p. 64. — Auszug.*)

**H.**r. D. hat die Beobachtung gemacht, dass die Eigenschaft, vom weissen Lichte bloß das blaue durchzulassen, nicht allein dem dünn geschlagenen oder in einer Flüs-

sigkeit fein vertheiltem Golde zukommt, sondern sich auch bei einer grossen Anzahl opaker Körper vorfindet, und sowohl von der Natur, als auch, bis zu einem gewissen Grade, selbst von der Farbe dieser Körper unabhängig ist. Doch lassen gelbe, rothgelbe und rothe Substanzen das Blau am entschiedensten sehen, graue minder gut, und farblose am schwächsten.

Um das Phänomen wohl zu beobachten, begebe man sich an einen etwas finsternen Ort, wohin das diffuse Licht durch eine über seinem Kopf befindliche Oeffnung gelangt, und halte dort zwischen Licht und Auge die zu untersuchende Substanz.

Von geschlagenen Metallen zeigt *reines Blattgold* die Erscheinung am deutlichsten, nächstdem *grünes Blattgold* (Legirung von Gold und Silber), *Blattsilber* und *Blattkupfer*. Bei letzterem zieht sich das Blau etwas in's Schwarze, und ist in sofern schwieriger zu beobachten, als es nicht leicht von der erforderlichen Düntheit zu erhalten und dann oft löcherig ist.

Unter den *Metallniederschlägen* sieht man die Erscheinung, außer beim Golde, zunächst fast eben so deutlich beim *Silber*, welches aus seiner Lösung in Salpetersäure durch das mittelst Eisenfeilicht und verdünnter Schwefelsäure bereitete Wasserstoffgas gefällt worden ist; ferner, obwohl minder gut, beim *Quecksilber*, das durch jenes unreine Wasserstoffgas aus salpetersaurem Oxydul niedergeschlagen worden.

Gepülverte Substanzen zeigen das Blau, wenn man sie in Wasser einführt, und wartet, bis sich die gröberen Theile abgesetzt haben; dann kommt ein Moment, wo die noch schwebenden Theilchen ein sehr merklich blaues Licht durchlassen. Je feiner das Pulver ist, desto besser gelingt der Versuch, besonders wenn man nicht zu viel von dem Pulver nimmt. Bei sehr schweren Pulvern ist es gut die Ablagerung der Theilchen zu verlangsamen, indem man eine schleimige Substanz in der Flüssigkeit

lässt, z. B. in Wasser arabisches Gummi, in Alcohol oder Aether ein Harz oder ein Fett.

Auf diese Weise beobachtet man die Erscheinung beim gepülverten *Silber*, *Antimon*, *Wismuth* und *Arsen*.

Ferner zeigen sie von grauen Substanzen: *Schwefelantimon* (*Grauspiefsglanzerz*), *Manganhyperoxyd*, *Bleiglanz*, *Glanzkobalt* von Tunaberg; von rothen oder rothgelben Substanzen: *Quecksilberoxyd*, *Mennige*, *Zinnober*, *englisch Roth*, *Blutstein*, *Bleiglätte*, *Kermes minerale*, *Mangansesquioxyd*, *Realgar*, *arsensaures Silber*; von gelben Substanzen: *Massicot*, *Turpethum minerale*, *Schwefelblumen*, *Schwefelmilch* (sehr schön, was die am Schwefelwasser von Ax (Ariége) beim Zutritt der Luft erfolgende und von Hrn. Fontan in seinen *Recherches sur les eaux de Pyrénées*, p. 49, beschriebene Erscheinung erklärt), *Musivgold*, *gelber Ocker*, *Chromgelb*; von schwarzen Substanzen: *Beinschwarz*; von weissen, farblosen Substanzen: *Calomel*, *Zinnoxyd*, *Bleiweiß*.

Auf eine Erklärung der Erscheinung lässt Hr. D. sich nicht ein; er sagt, er habe dieselbe nur als Chemiker studirt.

### X. Belegung von Glasspiegeln mittelst Silber.

Kürzlich hat Hr. Tourasse der Pariser Academie Glasspiegel vorgelegt, die nach dem Verfahren des Engländer Draiton statt des Zinns und Quecksilbers mit Silber belegt sind, und einen weit höheren Grad von Lichtreflexion darbieten als diese.

Das in England und Frankreich patentirte Verfahren besteht darin, dass man salpetersaures Silberoxyd in destillirtem Wasser löst, Alcohol, kohlensaures Ammoniak, Ammoniak und Kassiaöl hinzusetzt, die Flüssigkeit als-

dann auf den Glasspiegel gießt, und im Mouent dieser Operation noch Nelkenöl hinzufügt. Nach zwei Stunden ist der Proceſs beendigt, und das Glas mit einer vollkommen homogenen Schicht des reinsten Silbers überzogen. Durch eine Firnisſchicht wird die Belegung vor auferen Einflüssen geschützt.

Diese Belegung hat wesentliche Vorzüge vor der bisherigen. Aufser der starken Lichtreflexion, die sie gewährt, hat sie die Tugend, von Rissen frei zu seyn, die sich selbst bei der besten Folie finden, und dabei wird sie weder vom Licht noch von Feuchtigkeit angegriffen; auch ist ihre Anfertigung ohne allen Nachtheil für die Gesundheit der Arbeiter. (*Compt. rend., T. XXI, p. 378.*)

Vor Hrn. Drayton war es bereits bekannt, daß Aldehyd, erbitzt mit einer ammoniakalischen Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, die Innenwand des Glases mit glänzender Silberschicht bekleide, und daß auch Zuckersäure, Salicylsäure und Pyromeconsäure einen ähnlichen, obwohl dunkleren Silberüberzug liefern. Hr. John Stenhouse lehrt noch mehrere dergleichen kennen: Traubenzucker, Rohrzucker, Mimosengumm, Stärkmehl, Phloridzin, Terpentinöl, Lorbeeröl, Guajakharz; doch wirken diese Substanzen meistens nur bei Erhitzung und geben einen dunkleren Spiegel als der Drayton'sche Proceſs. Einen eben so guten Spiegel als durch diesen und schon in der Kälte bekommt man dagegen mit dem schwereren der beiden Oele, aus welchem das Pimentöl besteht; das leichtere dieser Oele ist aber selbst in der Hitze unwirksam, und eben so verhalten sich Zimnt-, Benzoë-, Mecon-, Komen-, Gerb- und Pyrogallussäure, Benzoë, Elemi, Weihrauch, Rhodiumöl und Glycerin. Als einen nicht leicht zu hebenden Uebelstand der Drayton'schen Spiegel hebt Hr. St. hervor, daß sie mit der Zeit kleine rothbraune Flecke bekommen, vermutlich in Folge mitniedergerissener Oeltheilchen. (*Phil. Magaz., Vol. 26, p. 293.*)

**XI. Ueber einen neuen neutralen Punkt in der  
Polarisation der Atmosphäre;  
von D. Brewster.**

**N**ach einer kurzen geschichtlichen Uebersicht der bisher über die Polarisation der Atmosphäre gemachten Entdeckungen theilt Hr. Babinet in den *Compt. rend.*, *T. XX*, *p. 801*, folgenden von Sir David Brewster empfangenen Brief mit:

„Ich habe nun fast vierjährige Beobachtungen über die Polarisation der Atmosphäre beisammen, und alle nöthigen Elemente zur Erlangung der Curven gleicher Polarisation bestimmt. Ich habe freilich die mittleren Resultate noch nicht mit der letzten Genauigkeit aufgesucht, allein dennoch werden die folgenden Sie interessiren:

Abstand des Arago'schen neutralen Punkts von dem antisolaren oder der Sonne gegenüber- liegenden Punkt, im Moment, wo dieser neu- trale Punkt am Horizont ist . . . . .	$11^{\circ} \frac{1}{2}$
Abstand desselben Punkts vom antisolaren, beim Untergang der Sonne . . . . .	$18^{\circ} \frac{1}{2}$
Abstand dieser selbigen beiden Punkte vom Ende der Dämmerung . . . . .	$25^{\circ} 0'$
Abstand des Babinet'schen <sup>1)</sup> neutralen (über der Sonne liegenden) Punkts von der Sonne, bei hohem Stande derselben . . . . .	6 bis $7^{\circ}$
Dieser Abstand wächst beim Untergang der Sonne bis . . . . .	$18^{\circ} \frac{1}{2}$
Abstand des Brewster'schen neutralen (unter der Sonne liegenden) Punkts von der Sonne, bei grofser Höhe derselben . . . . .	7 bis $8^{\circ}$

1) Ann., Bd. 51, S. 562.

Dieser Abstand wächst, wenn der Punkt den  
Horizont erreicht, bis . . . . . 16 od. 18°  
Doch ist letztere Beobachtung bei geringer Höhe der Sonne  
schwer zu machen.

Ich habe auch einen *secundären Neutralpunkt* entdeckt, der unter besonderen Zuständen des Horizonts den Arago'schen Neutralpunkt begleitet. Er hebt sich mit diesem Punkt, und die Polarisation zwischen beiden ist *negativ*.

Aus demselben Grunde *muss es nothwendig* für jeden der beiden, von Ihnen und mir entdeckten Punkten einen *secundären Neutralpunkt* geben, allein die Nähe der Sonne lässt mir keine Hoffnung, sie in diesem Clima zu entdecken.

Meine Abhandlung über diesen Gegenstand wird, glaube ich, in einem der nächsten Bände der *Transact. of the Roy. Irish Academy* gedruckt werden.

---

## XII. *Künstliche Erzeugung von durchsichtiger Kieselerde und von Hydrophan.*

---

In den *Compt. rend.* (T. XXI, p. 502 und 527) theilt Hr. Ebelman die interessante Thatsache mit, dass wenn man den einen der beiden kürzlich von ihm entdeckten Kieselsäure-Aether (Ann., Bd. 63, S. 174) längere Zeit einer feuchten Luft aussetzt, derselbe, unter fortwährender Aushauchung von Alcoholdunst, zu einer durchsichtigen Masse gesteht, die sich allmälig immer mehr zusammenzieht und verhärtet, ohne an Klarheit zu verlieren. Bei 5 bis 6 Grammen Aether ist der Proceß binnen 2 bis 3 Monaten beendet. Man muss ihn so verlangsamten, indem man der feuchten Luft nur durch eine kleine Oeffnung Zutritt gestattet zu der Flasche, worin der Aether

enthalten ist, weil sonst die Masse beim Zusammenziehen rissig wird.

Die so erhaltene Masse ist hart in dem Grade, dass sie Glas schwach ritzt; dabei ist sie sehr cohärent, und an Glanz, Bruch und Durchsichtigkeit ganz dem Bergkrystall vergleichbar. Sie hat die Dichte 1,77 und die Zusammensetzung  $SiO_2 \cdot HO$ , ist also ein Hydrat.

Mit einer geringen Abänderung kann man auf ähnliche Weise einen *Hydrophan* darstellen, d. h. eine opake Substanz, die in Wasser gelegt durchsichtig wird. Sie bildet sich, wenn man statt des reinen Kieselsäureäthers einen solchen der feuchten Luft aussetzt, welcher etwas Chlorsilicium enthält, was der Fall ist, wenn man bei der Bereitung des Aethers den Alcohol nicht in Ueberschuss angewandt hat. Dieser ein wenig saure Aether erstarrt anfangs zu einer durchsichtigen Masse, die aber nach einigen Wochen trübe wird, desto mehr, je mehr Chlorsilicium zugegen war.

Von der durchsichtigen Substanz hat Hr. Biot eine Platte optisch untersucht, und zwar, da deren Flächen nicht ganz eben waren, umhüllt von Olivenöl, das in einem Glasring zwischen Plangläser eingeschlossen war. Er überzeugte sich dadurch, dass dieser künstliche Quarz durchaus kein Drehungsvermögen besitzt, und eben so wenig jene unregelmässige Polarisation zeigt, die man an andern eingetrockneten Substanzen, z. B. Gummi und Gallete, beobachtet. (*Ibid. p. 503.*)

### XIII. Ausbruch des Hekla.

(Briefliche Mittheilung des Hrn. Prof. Forchhammer in Copenaghen; vom 14. October d. J.)

Am 2. September dieses Jahres um 9 Uhr Vormittags fühlte man in einem Umkreise von wenigstens 3 Meilen

um den Hekla ein schwaches Erdbeben, und gleich darauf erhab sich unter heftigem unterirdischen Donner eine dicke Rauchsäule aus dem südlichsten der drei Gipfel des Hekla's, welche bei schwachem Winde von NO. sich gegen SW. bog, allein da der Wind plötzlich umsprang fiel der Rauch gegen NO. über die Gebirgsweiden der Gemeinde Rangaaevalla. Dafs viel Rapilli in der Umgegend des Hekla gefallen seyn müfste, konnte man an den beiden Rangaaen und selbst am Markasfliot sehen, denn diese Flüsse, welche im Gebirge des Hekla entspringen, waren schon am Abend des 2. Septembers so mit Rapilli überfüllt, dafs die Färthen in der bebauten Gegend kaum zu Pferde passirt werden konnten, und die Reisenden es mit dem beginnenden Eisgange des Flusses im Winter verglichen. Die westliche Rangaae war beim Hofe Kalback, ungefähr  $2\frac{1}{2}$  Meilen von Hekla, so warm geworden, dafs man seine Hand nur eine kurze Zeit darin halten konnte.

Ein Lavastrom scheint an der südlichen Seite des Hekla ausgebrochen zu seyn, und man sieht denselben von den benachbarten Gegenden aus, übrigens ist die nächste Umgegend des Vulcans durch frühere Ausbrüche schon so zerstört, dafs hier kein bedeutender Schaden durch die Lava verursacht werden kann, und nur die nächsten Gehöfte, Sälsund und Näsforholt, in einer Entfernung von  $1\frac{1}{2}$  und 2 Meilen (auf der Karte gemessen), sind von ihren Bewohnern verlassen worden.

Die Asche, welche die südliche und westliche Umgegend des Hekla wegen der Richtung des Windes verschont hat, ist gegen SO., also in einer von dem auf Island herrschen Winden sehr verschiedenen Richtung weit weggetrieben. Auf den beiden südlichsten Inseln der Färöer, Sandöe und Suderöe, fiel in der Nacht vom 2. zum 3. September, oder eigentlich früh am Morgen des 3. Septembers, bei ziemlich starkem Nordwestwind eine feine braune Asche, die nach Schwefel roch, wäh-

rend man auf den andern Inseln die Asche nicht bemerkte. Auf ein Schiff, welches von Liverpool nach Island segelte, fiel am 3. September bei starkem Nordwestwind viel Asche, eben so auf ein von Hull nach Island bestimmtes Schiff bei Faerhill, und auf ein von Island nach Copenhagen bestimmtes Schiff bei den Orkney's. Von der auf das zuletzt genannte Schiff gefallenen Asche schicke ich Ihnen hierbei eine Probe<sup>1</sup>).

Es wiederholt sich also hier in hohen nördlichen Breiten das Phänomen von St. Vincent, indem die vulcanische Asche von der obern Luftströmung in einer vom Winde der untern Region verschiedenen Richtung bewegt ward.

Die Geiserquellen hatten seit dem Ausbruche bis zum 18. September keinen Ausbruch gehabt, und zeigen sich also hier als die Fumarolen des Hekla. Noch am 18. September dauerte der Aschenausbruch ununterbrochen fort und schien selbst zugenommen zu haben, da man die Rauchsäule, und bei klarem Wetter das Leuchten des Vulcans zu Reikiavig in einem Abstande von  $14\frac{1}{2}$  Meilen sehen konnte, welches früher nicht der Fall war. Die Gebirgsweiden (Afret) von Rangvalla und Landmanna, so wie die Weiden von Skaptatunga und Sider, sind zum Theil mit Asche bedeckt, doch ist der Schaden durch einen am 7. eingetroffenen starken Regen bedeutend vermindert.

*Zusatz.* Nach Privatberichten, welche die Kiöbenhavnpost vom 5. November mittheilt, dauerte der Ausbruch des Hekla noch mit derselben Gewalt wie zuvor bis zum 12. October fort. Die neue Lava floß noch unablässig aus dem südwestlichen Krater. Die Lavamasse hatte schon einen Weg von 3 Meilen durchlaufen und sich auf einer

1) Ich habe dieselbe Hrn. Prof. Ehrenberg übergeben, der die Resultate seiner mikroskopischen Untersuchung veröffentlichen wird, sobald er sie an einer fernerweiterigen Probe zu verificiren im Stande ist.

Sandebene unten am Berge ungefähr eine Meile weit, in einer Höhe von 30 bis 40 Ellen, ausgebreitet. Dieser Lavafluß bot vornehmlich bei hellen Nächten einen prachtvollen und imposanten Anblick dar. Man denke sich einen Bergstrom von glühendem Feuer, welcher sich von den Abhängen der Anhöhen herabwälzt und nach und nach, so wie er sich abkühlt und vom Krater entfernt, eine mehr röthliche oder rothbraune Farbe annimmt, und dazu eine sich hin und her bewegende Flamme. Drei ungeheure Rauchsäulen stiegen beständig aus den drei Kratern, die sich gebildet hatten, und breiteten sich über die nächstliegenden Distrikte aus. Bisher hatte der Ausbruch noch keinen Bauerhof verwüstet, aber die durch die niederfallende Asche verursachte Zerstörung der Weiden hatte schon angefangen einen schädlichen Einfluß auf das Vieh, und namentlich auf die Kühe zu äussern, von welchen, wie es hiefs, 30 bis 40 in den Rangaaevalla- und Arnes-Sysseln gefallen waren. Die zu ersterem Sysse gehörigen Weiden im Osten des Berges waren bereits beim ersten Ausbruche von grossen Massen niedergefallenen Bimsteins durchaus zerstört worden, und man befürchtete, dass auch Schafe dadurch umgekommen seyn möchten. Wenn man auch noch nicht sagen kann, dass die Zerstörung einen hohen Grad erreicht hat, so kann man doch, so lange der Ausbruch dauert, nicht ohne Besorgniß seyn, da die Lava, so wie sie Zufluss vom Berge erhält, den angebauten Gegenden immer näher rückt.

#### XIV. *Geschichtliche Notiz.*

**N**ewton's Sonnenuhren. — Zu Woolsthorpe, einem Dörfchen bei Colsterworth in der Grafschaft Lincoln, befanden sich seither an der Südostecke des Hauses, worin

**Newton** das Licht der Welt erblickte, zwei Sonnenuhren, die der grosse Mann als Knabe mit eigener Hand in die Mauer eingegraben hatte. Die Zeiger, die, wie man aus Beschreibungen weiß, von ziemlich roher Construction waren, fehlten schon seit einigen Jahren daran, aber die Zifferblätter, obwohl sie auch gelitten, befanden sich noch in ziemlich gutem Zustande. Das bessere von ihnen ist nun im vorigen Jahre mit Bewilligung des jetzigen Besitzers, Hrn. Christopher Turner, von dem Hause abgelöst und zur Bewahrung für künftige Zeiten in den Räumen der K. Gesellschaft zu London niedergelegt. Fig. 16, Taf. I giebt nach einem diese Notiz begleitenden Holzschnitt in den *Philosoph. Transact. f. 1845, pt. I, p. 141*, den Anblick des Hauses mit seinen beiden bisherigen Reliquien.

#### **XV. Preisfrage.**

**Die Königliche Academie gemeinnütziger Wissenschaften zu Erfurt** stellt aus dem, ihr noch zur Verfügung stehenden, Vermächtnisse des hieselbst verstorbenen Königlich Dänischen Justizraths Dr. Büchner folgende zweite Preisfrage auf:

„Viele angesehene Physiologen und Chemiker halten sich gegenwärtig überzeugt, dass die durch chemische Operationen unzerlegbaren und deshalb einfach genannten Stoffe auch in organischen Körpern keine Veränderung erfahren, sondern dass alle Veränderungen, welche in organischen Körpern, von ihrer ersten Entwicklung an bis zu ihrem Ableben, in ihren Bestandtheilen vorgenommen werden, bloß durch Aufnahme gewisser Stoffe von Außen und Ausscheidung anderer Stoffe nach Außen bedingt werden. Indessen ist diese Behauptung nichts weniger

als hinreichend begründet, vielmehr sprechen mehrere, selbst neuere, wie es scheint, mit aller Umsicht angestellte Beobachtungen und Versuche für das Gegentheil; dahin gehören hinsichtlich der Pflanzen besonders die von A. Vogel wiederholt unternommenen Versuche mit ausgesäeter Gartenkresse, welche zu beweisen scheinen, dass diese Kresse einen Theil des in ihr enthaltenen Schwefels durch ihren Vegetationsproceſſ bildet, indem der Gehalt an Schwefel, der in der analysirten Pflanze gefunden wurde, die im Saamen enthaltene Menge desselben überstieg, wiewohl alle Vorsichtsmaaſregeln getroffen wurden, um zu verbüten, dass Schwefel von Außen aufgenommen werden konnte.

Hinsichtlich der Thiere scheinen dies aber die früher von Prout und später die von Pfaff und Oehm angestellten und jene grössttentheils bestätigenden Versuche, über die Veränderungen der chemischen Bestandtheile, welche während des Brütens in Hühnereiern vorgehen, hinlänglich zu beweisen; auch dürfte in der That schon die bedeutende Zunahme der Knochen in Säugethieren nach der Geburt dafür sprechen, indem dieselbe in keinem Verhältnisse zu der geringen Menge von phosphorsaurem Kalk zu stehen scheint, welche dem neugeborenen Säugethiere durch die Muttermilch zugeführt wird. Hierdurch sieht sich die Academie veranlaſt, die Aufgabe zu stellen:

Durch neue Versuche außer Zweifel zu setzen, ob bei der Ernährung und Ausbildung der Pflanzen und Thiere Veränderungen in den in ihnen enthaltenen chemisch einfachen Stoffen vorgehen, so dass ein Theil ihrer Bestandtheile bloß durch Umwandlung anderer chemisch einfacher Stoffe erzeugt wird, oder ob dies nicht der Fall ist, sondern die für jene Annahme scheinbar sprechenden Versuche andere Erklärungen zulassen?

Dass die Lösung dieser Aufgabe für die ganze Naturlehre und insbesondere für die Physiologie der Pflan-

zen und Thiere von äusserster Wichtigkeit sey, bedarf wohl keines näheren Beweises; sie ist es aber nicht nur in theoretischer Hinsicht, sondern auch in practischer, wie dies schon daraus erhellt, dass die Liebig'sche und andere neuere Lehren über die Ernährung der organischen Körper und die darauf sich gründenden Vorschriften nur bei der Voraussetzung für vollkommen wahr erklärt werden können, dass die chemisch einfachen Stoffe eben so wenig durch die in organischen Körpern vorgehenden Processe, als durch chemische Operationen außerhalb desselben verändert werden können, und dass daher jene jetzt so viel besprochenen und so viel Aufsehen erregenden Lehren für haltbar oder unhaltbar erkannt werden müssen, je nachdem die Beantwortung dieser Frage verneinend oder bejahend ausfällt."

Der ausgesetzte Preis für die genügende Beantwortung dieser Preisfrage beträgt zwanzig Stück Friedrichs-d'or. Die Preisbewerber haben ihre in deutscher, französischer oder englischer Sprache *leserlich* geschriebenen Arbeiten spätestens bis zum 1. Januar 1848 an den Secretair der Academie, Kreisphysicus Wittcke, *portofrei* einzusenden. Jede Arbeit muss mit einem Wahlspruche versehen seyn, der sich ebenfalls auf der Aufenseite eines beiliegenden, *versiegelten* Zettels befindet, in welchem letzteren der deutlich geschriebene Name, Charakter und Wohnort des Einsenders steht.

Die genügende Abhandlung wird in der öffentlichen Sitzung am 15. October 1848 gekrönt werden.

Dem Autor verbleibt das Eigenthumsrecht der gekrönten Preisschrift, doch muss dieselbe, falls es der Autor nicht vorzieht, sie zu den gedruckten Acten der Academie zu geben, binnen Jahresfrist gedruckt seyn.